Gerding

Schule der Physik

für

Lehranstalten

und

zum Privatgebrauch

bearbeitet

von

Dr. Th. Gerding,
Dirigent des Technicums zu Göttingen.

Mit 152 in den Text gedruckten Holzschnitten.

Hannover.
Carl Rümpler.
1862.

Druck von August Grimpe in Hannover.

Vorwort.

Dem Ersuchen der ehrenwerthen Verlags-Buchhandlung des Herrn Carl Rümpler in Hannover nachkommend, übergebe ich hiermit dem Publikum eine „**Schule der Physik**", welche die hauptsächlichsten und für das praktische Leben wichtigsten Theoreme aus dem Gebiete der Physik in kurz gedrängter, populärer Form enthält.

Es dürfte daher dieses Werkchen allen Freunden der Physik bei ihren Studien als Leitfaden dienen können und in Betreff der beachteten Anwendung, namentlich deshalb nicht unwillkommen erscheinen, da auch der Telegraphie darin gedacht worden ist.

Uebrigens lasse ich nicht unbemerkt, daß bei der Bearbeitung die Werke von Pouillet-Müller, Lainé, Biot, Koppe, Eisenlohr, Blume, sowie Müller's „Jahresbericht" ꝛc. Beachtung gefunden haben, und wünsche ich, daß aus dem Gebrauch des Vorliegenden den Lesern ein ersprießlicher Nutzen erwachsen möge!

Göttingen, im Mai 1862.

Der Verfasser.

Inhalt.

Die ätherischen Fluida.

Gegenstand der Physik.

Die Physik beschäftigt sich mit der Erforschung der Naturerscheinungen und mit den Bedingungen, welche solche hervorrufen, so wie mit der Erklärung der dabei mitwirkenden Ursachen. Jedoch nur die in der Körperwelt wahrnehmbaren äußeren Naturerscheinungen gehören in den Bereich der Physik im engern Sinne des Worts, oder in die sogenannte Naturlehre. Bei jeder physikalischen Erscheinung bleibt die innere Natur der Körper unverändert. Wird z. B. eine Siegellackstange mit einem Stück wollenen Tuchs längere Zeit gerieben, so wird jener dadurch die Eigenschaft ertheilt, daß sie leichte Körperchen, wie Federfähnchen, Papierschnitzeln, anzieht; eine solche Erscheinung, bei welcher die materielle Natur des Lacks dieselbe bleibt, ist eine physikalische.

Allgemeine Eigenschaften der Körper.

An der gesammten Körperwelt, deren Character durch eine den Raum erfüllende Materie bedingt ist, nehmen wir zum Theil allgemeine, zum Theil besondere oder zufällige physikalische Eigenschaften wahr.

Die Eigenschaften, welche allen Körpern zukommen, sind: Ausdehnung, Undurchdringlichkeit, Porösität, Theilbarkeit, Elasticität, Zusammendrückbarkeit, Schwere, Beweglichkeit.

Ohne die ersten beiden Eigenschaften, die Ausdehnung und Undurchdringlichkeit, können wir uns einen Körper nicht denken und daher nennt man jene Eigenschaften nothwendige oder wesentliche. Die andern Eigenschaften hingegen, wenn sie auch allen Körpern zukommen können, sind als zufällige zu betrachten; denn obgleich z. B. alle uns bekannten Körper schwer sind, so wäre es doch

nicht geradezu unmöglich, daß ein Körper aufgefunden würde, welchem keine Schwere eigenthümlich wäre. (Ueber „Schwere“ s. S. 20.)

Ausdehnung. Diese erste allgemeine Eigenschaft kommt allen Körpern zu. Jeder Körper ist ausgedehnt, d. h. er nimmt einen Raum ein; er hat eine gewisse Größe, ein gewisses Volumen oder einen Umfang. Die Ausdehnung ist dreifacher Art, nämlich nach Länge, Höhe und Breite. Die Messungen eines Körpers werden daher nach diesen drei Ausdehnungen vorgenommen.

Als Längeneinheit benutzt man gewöhnlich den Fuß, welcher wieder in 12 Zoll eingetheilt wird, und von denen jeder Zoll in 12 Linien zerfällt. — 12 Fuß bilden eine Ruthe.

Ein anderes Längenmaß ist die Meile, welche, je nach verschiedenen Ländern, sich auf eine bestimmte Anzahl Fuße ausdehnt; so ist z. B. die geographische Meile = 23,642,1 Fuß, die preußische Meile = 24,000 Fuß.

Als ferner vielfach benutzte Längenmaße können noch die Elle, das Lachter (beim Bergbau) und der Faden (beim Seewesen) angeführt werden. Eine preußische Elle entspricht 25½ Zoll, ein Lachter 80 Zoll, ein Faden 6 Fuß.

Ein vielfach benutztes Längenmaß ist das Meter = 3,078 Pariser Fuß oder 3,186 rheinländische Fuß. — Ein Pariser Fuß = 1,035 preußische Fuß. — 6 Pariser Fuß machen eine Toise aus.

Die Grenze, welche einen Körper von dem übrigen Raume oder von andern Körpern trennt, heißt seine Oberfläche. — Bei der Fläche unterscheidet man nur zwei Ausdehnungen, Länge und Breite; sie wird durch den Quadratfuß und durch das Quadratmeter gemessen. Als besonderes Flächenmaß ist der Morgen anzuführen, welcher, je nach den verschiedenen Ländern eine verschiedene Ausdehnung hat, so entspricht z. B. ein preußischer Morgen 180 Quadratruthen, ein hannoverscher Morgen 124 Quadratruthen.

Die gebräuchlichsten Hohl- oder Körpermaße sind folgende: ein preuß. Scheffel = $^{16}/_9$ Kubikfuß = 3072 Kubikzoll = 16 Metzen = 48 Quart. Eine Metze entspricht demnach $^1/_{16}$ Scheffel und 1 Quart $^1/_3$ Metze oder $^1/_{27}$ Kubikfuß. Ein hannoverscher Himten = 4 Metzen = 20,76 badische Maß; ein baierischer Scheffel 6 Metzen = 208 Maß; ein sächsischer Scheffel hat 4 Viertel oder 16 Metzen (64 Mäßchen); ein französisches Liter = 0,873 preußische Quart; — 100 Liter = 1,819 preuß. Scheffel. Ein englischer Bushel = 4 Pek, 1 Pek = 2 Gallons, 1 Gallon = 4 Quarts, 1 Quart = 4 Pints, 1 Quarter (64 Gallons) = 5,288 preuß. Scheffel.

Undurchdringlichkeit. Vermöge dieser Eigenschaft der Körper können zwei Körper nicht zugleich in einem und demselben Raume sein. — Wohl sind wir im Stande z. B. in einem Gefäße durch einen festen Körper die vorhandene Luft zusammenzupressen; aber wir vermögen nicht sie ganz zu verdrängen. — Wenn die Körperwelt durch einen mit Materie oder Substanz angefüllten Raum charakterisirt ist, so ergiebt sich von selbst, daß auch jedes Theilchen der Substanz einen Raum beansprucht, und daß diesen Raum die Theile eines andern Körpers nicht einnehmen können.

Porösität. Die Materie oder die Substanz, welche einen Raum erfüllt, nennt man die Masse des Körpers und die Größe dieser Masse, verglichen mit dem Raume, liefert seine Dichtigkeit. Ist aber der Raum nicht ganz ausgefüllt, oder befinden sich zwischen den einzelnen Theilchen der Körpermasse Zwischenräume (Poren), so nennt man den Körper porös und die ihm zukommende Eigenschaft Porösität. Demnach hat ein poröser Körper ein wahres und ein scheinbares Volumen. Ersteres bezeichnet den Raum, welcher von der Substanz des Körpers

selbst eingenommen wird, letzteres den Raum, welcher durch die äußere Gestalt abgegrenzt ist.

Betrachten wir einen Schwamm, so finden wir in demselben große oder kleine Zwischenräume oder Poren; drücken wir ihn zusammen, so nähert sich sein scheinbares Volumen dem wahren; es ist jedoch unmöglich, ihn so stark zusammen zu pressen, daß gar keine Zwischenräume zwischen den Theilchen mehr vorhanden sind. Man kann sich demnach wohl eine Vorstellung von dem wahren Volumen machen, aber dasselbe nicht ausmitteln, so daß, wenn von dem Volumen eines Körpers gesprochen wird, nur immer das scheinbare Volumen darunter zu verstehen ist.

Nimmt man die Bedeutung des Worts „Porösität“ in seiner größten Ausdehnung, so sind alle Körper porös; versteht man aber unter einem porösen Körper einen solchen, dessen Zwischenräume groß genug sind, um Flüssigkeiten und Gase durchzulassen, so darf man nicht mehr sagen, daß alle Körper porös seien, denn es giebt solche, welche weder den Flüssigkeiten, noch dem feinsten Gase einen Durchgang gestatten.

Alle künstlichen Gewebe, sowie die natürlichen Gewebe des Thier- und Pflanzenreichs sind poröse Körper; auch mineralische Substanzen sind bald mehr bald weniger porös. Versteinerte Thiere und versteinertes Holz liefern einen Beweis für die Porösität, weil ja die versteinernde Substanz alle Fasern der zu versteinernden Masse durchdringen mußte.

Häufig läßt sich auch aus gewissen Erscheinungen, welche die Körper uns darbieten, auf die Porösität schließen, z. B. durch Leder läßt sich schon bei mäßigem, durch dichtes Holz bei stärkerem Druck Quecksilber pressen. — Wasser und andere Flüssigkeiten saugen Luft ein, welche aus denselben, wenn sie erwärmt werden, in Gestalt kleiner Bläschen entweichen.

Theilbarkeit. Alle Körper, welche bis jetzt durch die Sinne wahrgenommen worden sind, lassen sich bis zu einem gewissen Grade der Kleinheit theilen und zwar bis in's Unendliche.

Alle Flüssigkeiten lassen sich in so kleine Theilchen theilen, daß diese sich zuletzt unseren sinnlichen Wahrnehmungen entziehen und von den festen Körpern läßt sich eben dasselbe sagen.

Ein Dukaten giebt z. B. ausgedehnt 2000 Quadratzoll Goldblättchen. Eine silberne Stange von $1\frac{1}{4}$ Zoll Dicke und 22 Zoll Länge mit 1 — 2 Loth Gold überzogen, liefert einen Draht von 110 franz. Meilen, welcher noch überall vergoldet ist, so daß 14,000,000 solcher Goldschichten, wie diejenige, welche ihn bedeckt, auf die Dicke eines Zolls kommen würden. Platina läßt ferner sich zu einem Draht von $\frac{1}{30000}$ Zoll Dicke ausziehen. — Das dünnste Blattgold hat eine Dicke von $\frac{1}{25000}$ Linie. 1 ℔ Baumwolle ist zu einem Faden von 40 Meilen Länge ausgesponnen worden. Ein Gran Carmin färbt 20 ℔ Wasser merklich roth. Eine kleine Menge Moschus vermag ein ganzes Haus mit seinem Geruch anzufüllen, ohne von seiner Menge merklich zu verlieren.

Zusammendrückbarkeit ist die Eigenschaft der Körper, sich auf ein kleineres Volumen zusammenpressen zu lassen.

Elasticität ist die Eigenschaft der Körper, ihren ursprünglichen Zustand wieder anzunehmen, wenn die Ursache zu wirken aufhört, welche ihre Form oder ihr Volumen ändert; so ist die Luft z. B. vollkommen elastisch, denn, wenn man sie durch einen Stempel zusammen gepreßt hat, so treibt sie denselben von selbst wieder zurück. Ebenso verhalten sich andere gasförmige Körper, und auch tropfbar flüssige Körper dehnen sich wieder aus, sobald die zusammenpressende Kraft zu wirken aufhört. Unter den festen Körpern ist der am meisten elastische das Kautschuck oder Gummi elasticum, aber dennoch kann man durch

einen lange wirkenden oder sehr starken Druck seine Form und sein Volumen bleibend verändern. (Ueber „Schwere und Beweglichkeit“ s. S. 14, 20 und folgende.)

Aeußere Verschiedenheit der Körper.

Je nach dem Widerstande, welchen ein Körper der wirklichen Theilung und Zusammendrückbarkeit entgegensetzt, zeigen dieselben ein verschiedenes Verhalten, so daß man in dieser Beziehung drei verschiedene Zustände: den festen, flüssigen und luftförmigen zu unterscheiden hat. Dennoch aber können diese Zustände (Aggregatzustände genannt) keinen wesentlichen Unterschied bedingen, nach welchem sich die Körper in verschiedene Klassen theilen ließen, da ein und derselbe Körper alle drei Zustände anzunehmen vermag; so z. B. kennen wir das Wasser in luftförmigem Zustande, als Dampf, für gewöhnlich in flüssigem Zustande und in festem Zustande als Eis. Auch die Kohlensäure, welche das Moussiren vieler Getränke bewirkt, läßt sich aus ihrem gewöhnlichen gasförmigen Zustande durch Druck und angemessene Temperatur in den flüssigen und festen Zustand überführen. Selbst auch manche feste Körper, wie Metalle, können mit Hülfe der Wärme in alle drei Zustände versetzt werden.

Fest oder starr nennen wir einen Körper, dessen Theile sich nur bei Anwendung einer bedeutenden Kraft trennen oder verschieben lassen, flüssig einen solchen, bei dem dies leicht möglich ist, und als luftförmig bezeichnen wir diejenigen Körper, welche sich leicht zusammendrücken lassen und bei vermindertem Druck wieder ausdehnen.

Kräfte der Materie.

Je nachdem die Theile eines festen Körpers sich schwerer oder leichter verschieben lassen, werden sie von einer angenomme-

nen Kraft, der Zusammenhangskraft oder Cohäsion stärker oder schwächer zusammen gehalten, denn diese Kraft wirkt zwischen den sich berührenden Theilen eines und desselben Körpers. Sie zeigt sich bei den festen Körpern in dem Widerstande, welchen sie der Trennung oder Verschiebung ihrer Theile entgegensetzt und bei den Flüssigkeiten in dem Bestreben, wenn sie nicht durch störende Einwirkungen daran verhindert werden, die Kugelgestalt anzunehmen, wie wir dies z. B. beim Regentropfen sehen. Es kann nämlich in einer gleichartigen flüssigen Masse, auf welche keine anderen Kräfte als die Anziehung, welche die materiellen Theile derselben auf einander ausüben, einwirken, offenbar nur bei einer gleichförmigen Vertheilung der Masse um den Mittelpunkt, also bei der Kugelgestalt ein Gleichgewicht stattfinden.

Die festen Körper sind indessen nicht alle in ein- und demselben Grade fest, sondern man unterscheidet folgende Verschiedenheiten, welche von dem Grade der wirksamen Cohäsion abhängig sind. So heißt ein Körper hart, dessen Theile sich schwer verschieben lassen und unter allen bis jetzt bekannten Körpern ist der Diamant der härteste, wiewohl demselben das in neuerer Zeit aus der Borsäure abgeschiedene krystallisirte Bor in dieser Beziehung an die Seite gestellt werden kann. — Das Gegentheil von „hart" heißt weich. Spröde nennt man einen Körper, dessen Theile schon bei einer geringen Verschiebung sich trennen lassen; das Gegentheil von „spröde" ist zähe. Die Theile eines zähen Körpers lassen sich leicht verschieben, setzen aber der Trennung einen großen Widerstand entgegen. Dehnbar wird ein solcher Körper genannt, welcher sich leicht nach der einen oder andern Richtung verlängern läßt, ohne daß dadurch der Zusammenhang seiner Theile ganz aufgehoben wird. Die Eigenschaft der Dehnbarkeit besitzen die meisten Metalle und im höchsten Grade das Gold.

Adhäsion oder Anhaftungskraft macht ihre Wirkung zwischen den Oberflächen zweier sich berührenden Körper geltend. Werden z. B. zwei sorgfältig abgeschliffene Metallplatten an einander gehalten, so wird man wahrnehmen, daß sie der Trennung mit einer nicht unbedeutenden Kraft widerstehen. Dasselbe findet Statt, wenn man eine ebene Fläche eines festen Körpers mit der Oberfläche einer Flüssigkeit in Berührung bringt; es findet dann zwischen den Theilen eine Anziehung Statt, und diese Kraft nennt man Adhäsion, auf deren Wirkung manche Erscheinnng beruht, so z. B. das Anhängen des Wassers an einer Glasfläche, sowie verschiedene Bindemittel, deren man sich bedient, um zwei Körper zusammen zu halten; das Anlegen des Staubes an die Decken, die Wände des Zimmers, das Schreiben mit Tinte. Sehr deutlich bemerkt man auch die Wirkung der Adhäsion, wenn man ein Glas mit Wasser so weit anfüllt, daß es fast überzulaufen beginnt; man wird wahrnehmen, daß sich eine erhabene Oberfläche bildet, weil die Flüssigkeit dem Rande des Glases anhaftet, und das Wasser nur dann überläuft, wenn man dem Glase nach der einen oder andern Seite das Uebergewicht giebt.

Capillarität oder Haarröhrchenkraft bewirkt Adhäsions-Erscheinungen zwischen festen und flüssigen Körpern und hat ihren Namen daher erhalten, weil sie in ganz feinen Röhrchen das Anhaften der flüssigen an festen Körpern geltend macht. Der innere Durchmesser solcher Röhrchen kann nämlich so klein sein, wie der eines Haars — daher der obige Name.

Auf den Gesetzen dieser Haarröhrchenkraft beruht eine Menge von Erscheinungen, so z. B. das Einsaugen des Wassers von Schwamm, Löschpapier, Zucker, trocknem Holz u. s. w. Körpern, deren Poren zusammenhängende feine Kanäle bilden;

ferner das Aufsteigen des geschmolzenen Talgs, überhaupt der Fettarten, des Oels u. s. w. in einem Docht.

Eine auffallendere Adhäsions-Erscheinung ist die Endosmose, welche man wahrnimmt, wenn man eine dünne Glasröhre *(Fig. 1)* an dem einen Ende mit einer Thierblase überbindet und dieselbe dann mit einer Auflösung von Gummi oder Zucker in Wasser bis zu einem Dritttheil anfüllt, und dann diese Glasröhre in ein mit Wasser oder gefärbtem Wasser gefülltes Gefäß soweit einsenkt, daß beide Flüssigkeiten gleiche Höhe haben; man wird dann sehr bald wahrnehmen, daß die Flüssigkeit in der Röhre steigt, während das Wasser in dem äußeren Gefäße fällt; es muß daher Wasser durch die Blase aus dem Glase in die Röhre getreten sein; auf der andern Seite ist aber auch ein Theil der Lösung aus der Glasröhre in das weitere Gefäß eingetreten, wovon die Färbung Zeuge sein wird. Wenn man nun umgekehrt in die Glasröhre Wasser füllt und in das weite Gefäß eine Lösung von Kupfervitriol oder Zucker bringt, so wird das Wasser in der Röhre fallen, während die Flüssigkeit in dem äußeren Gefäße steigt.

Fig. 1.



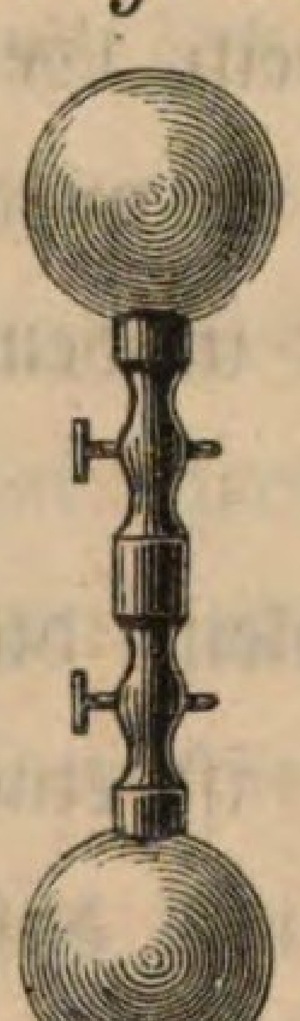
Diese Erscheinung der Endosmose zeigt nicht allein die thierische Haut, sondern auch vegetabilische Haut und sie ist eine Hauptursache, daß die Wurzelfasern Wasser einsaugen und daß das Aufsteigen des Pflanzensaftes bis in die Spitzen der Zweige und Blätter erfolgt. Das Wasser, welches nämlich die Wurzel umgiebt, besitzt eine geringere Dichtigkeit, als der in den Zellen der Wurzelfasern enthaltene Saft, und so muß das Wasser, vermöge der Endosmose in diese Zellen eindringen, wodurch

dann der vorhandene Saft verdünnt wird und weiter in solche Zellen, welche dichteren Saft enthalten, übergeht.

Auch im thierischen Körper finden ähnliche Erscheinungen Statt, indem der Uebergang des Bluts aus den Arterien durch die Capillargefäße in die Venen erfolgt.

Die gasförmigen Körper oder diejenigen Luftarten, welche bei gewöhnlicher Temperatur und nicht allzustarkem Druck die luftförmige Gestalt behaupten, zeigen dasselbe Verhalten wie Flüssigkeiten, wenn dieselben durch einen porösen Körper getrennt sind. Man nennt diese Erscheinung die Diffusion der Gase, welche bewirkt, daß aus einer Flasche, welche mit irgend einem Gase angefüllt ist, auch selbst bei umgekehrter Flasche das Gas allmählig entweicht und atmosphärische Luft in die Flasche tritt. Leitet man überhaupt zwei verschiedene Gase zusammen, so wird man beobachten, daß ein jedes derselben in dem Raume sich verbreitet, als ob ein anderes nicht vorhanden wäre. Hiervon kann man sich leicht überzeugen, wenn man zwei Glasgefäße oder Ballons, *(Fig. 2)* von denen das eine mit dem sehr leichten Wasserstoffgas und das andere mit der bedeutend schwereren Kohlensäure gefüllt, mit einander verbindet, so daß das obere mit Wasserstoffgas und das untere mit Kohlensäure versehen ist. Oeffnet man nun die Hähne, so wird man bemerken, daß die Gase sich vermischen und zwar in der Weise, daß die Hälfte des leichteren Wasserstoffgases in dem untern Gefäße und die Hälfte des Kohlensäuregases in dem obern sich befindet. In gleicher Weise verhalten sich auch die Dämpfe.

Fig. 2.



Krystallisation. Bei dem Uebergange aus dem flüssigen in den festen Zustand nehmen die Körper eine regelmäßige Gestalt an, welche eine regelmäßige Begrenzung durch ebene Flächen besitzt und durch eine der Materie innewohnende An-

ziehung erzeugt wird. — Eine solche Gestalt pflegt man ein Krystall und die denselben hervorrufende Anziehung Krystallisations-Kraft zu nennen. —

Je langsamer der Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand erfolgt, desto größer und vollständiger werden die Krystalle; — die schönsten derartigen Formen liefert uns die Natur in Edelsteinen und andern Mineralien.

Um feste Körper flüssig zu machen, kann man sich zwei verschiedener Mittel bedienen, nämlich entweder einer Schmelzung mittelst Wärme, oder einer Auflösung in Wasser, Weingeist, Säuren und andern Flüssigkeiten. Löst man z. B. Kochsalz in Wasser auf und läßt die Flüssigkeit in einem Schälchen verdunsten, so wird das Salz in Würfeln anschießen. Auch wenn man Zucker in gleicher Weise behandelt, wird man denselben in vier- und sechsseitigen Krystallen erzielen.

Fig. 3 a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, l liefert die wichtigsten Grundgestalten, auf welche die verschiedenen Krystallformen sich zurückführen lassen.

Fig. 3 a.

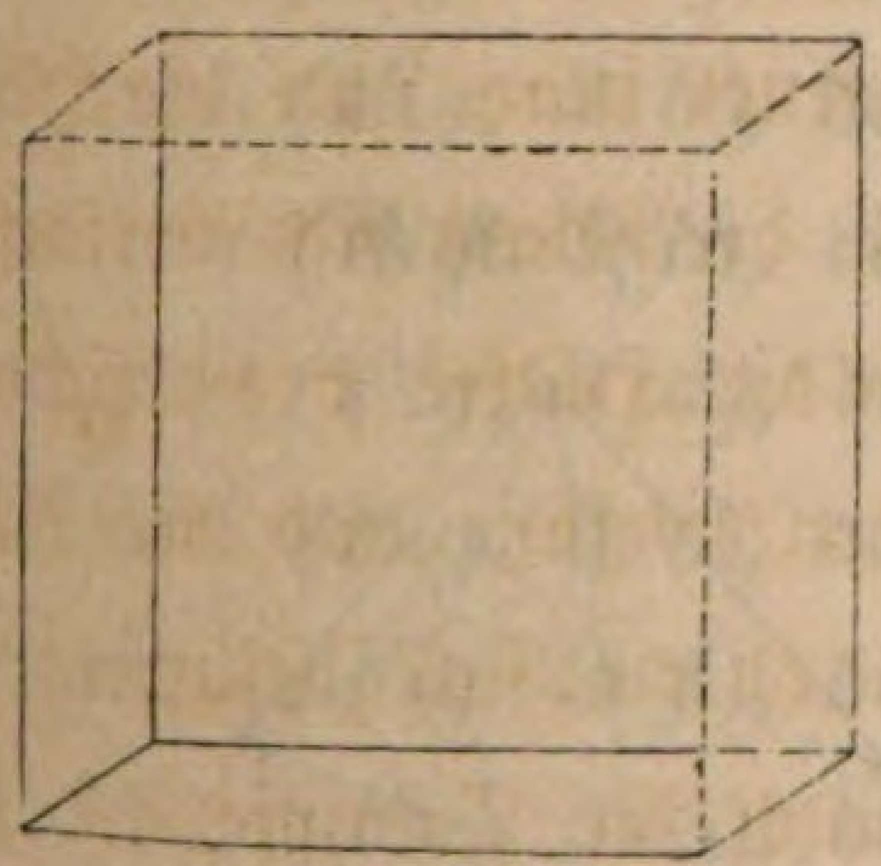


Fig. 3 b.

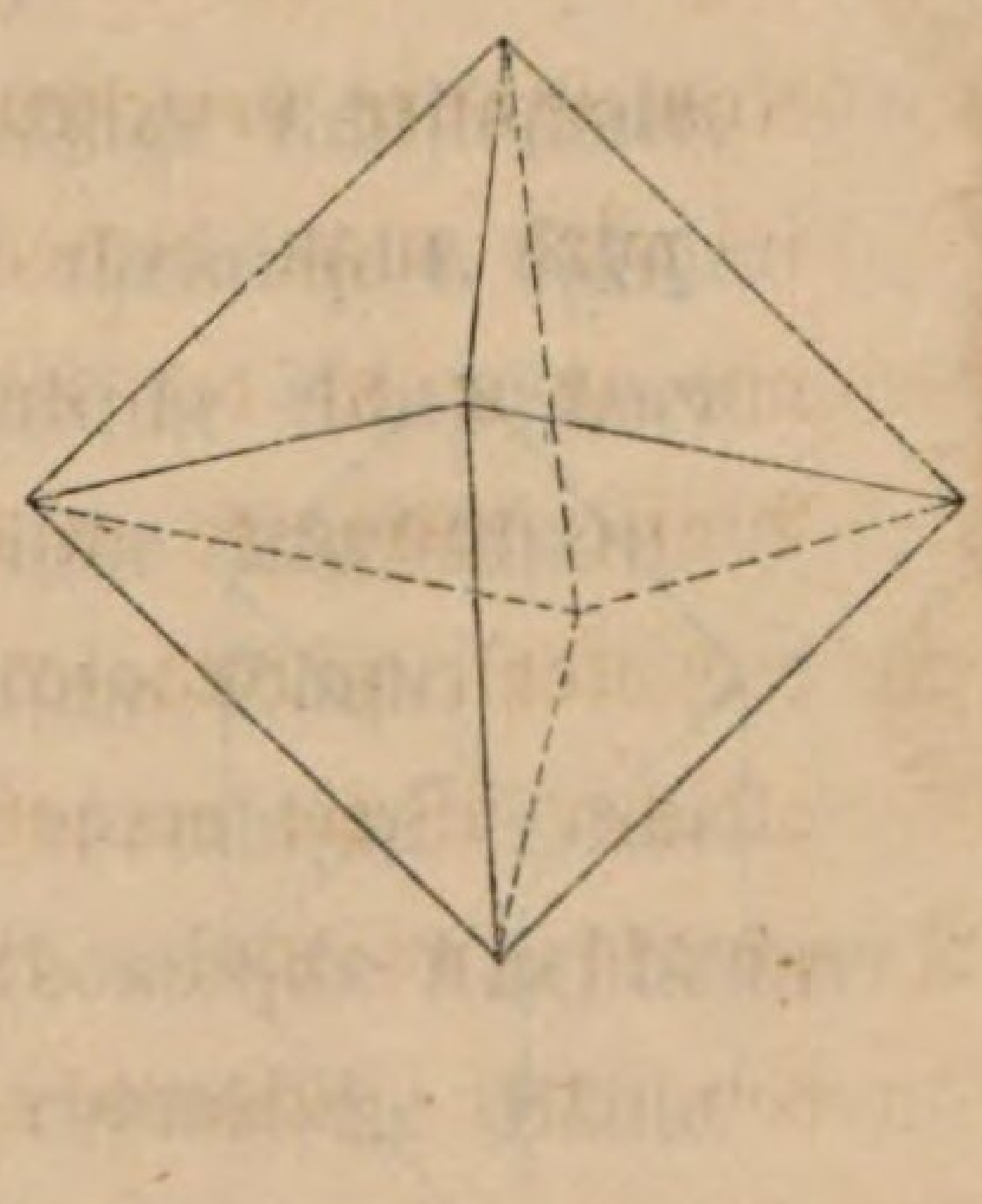


Fig. 3 c.

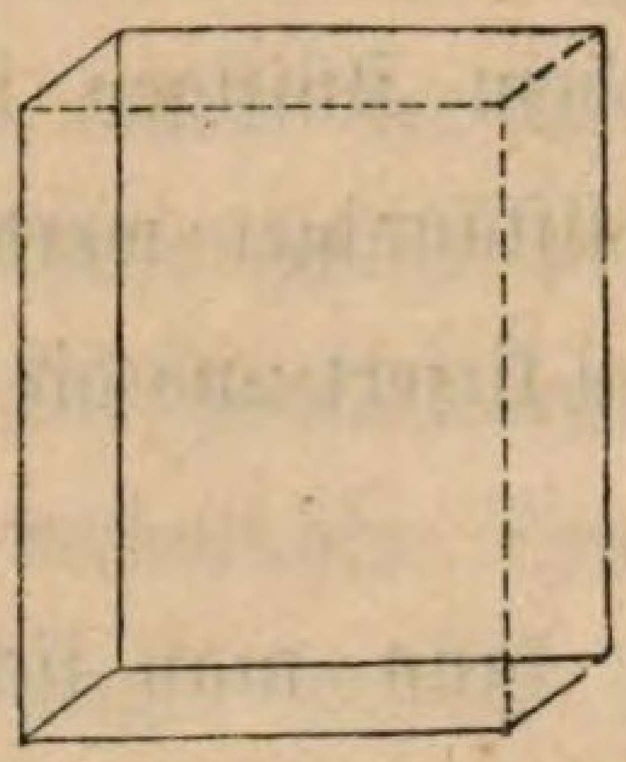


Fig. 3 d.

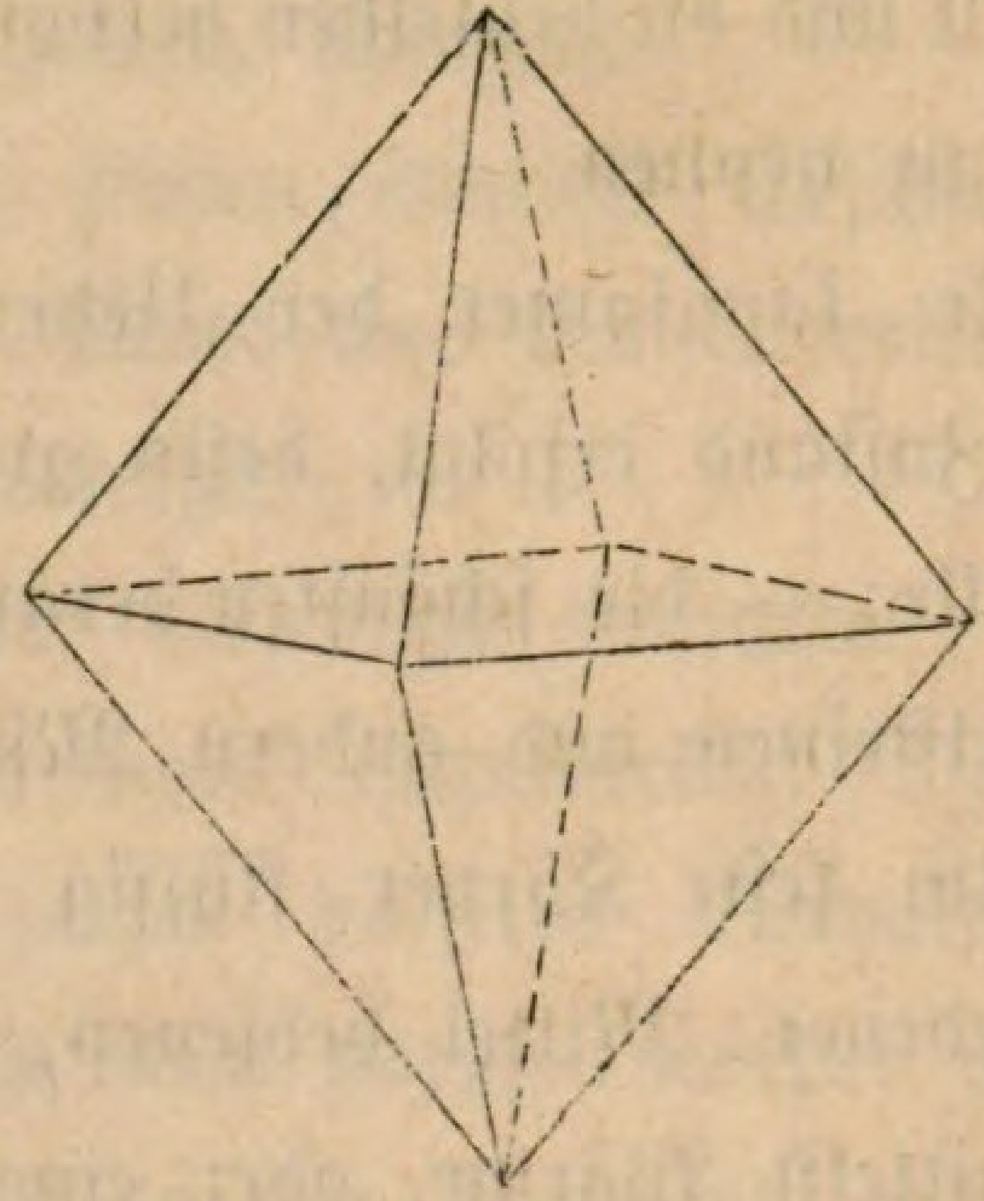


Fig. 3 e.

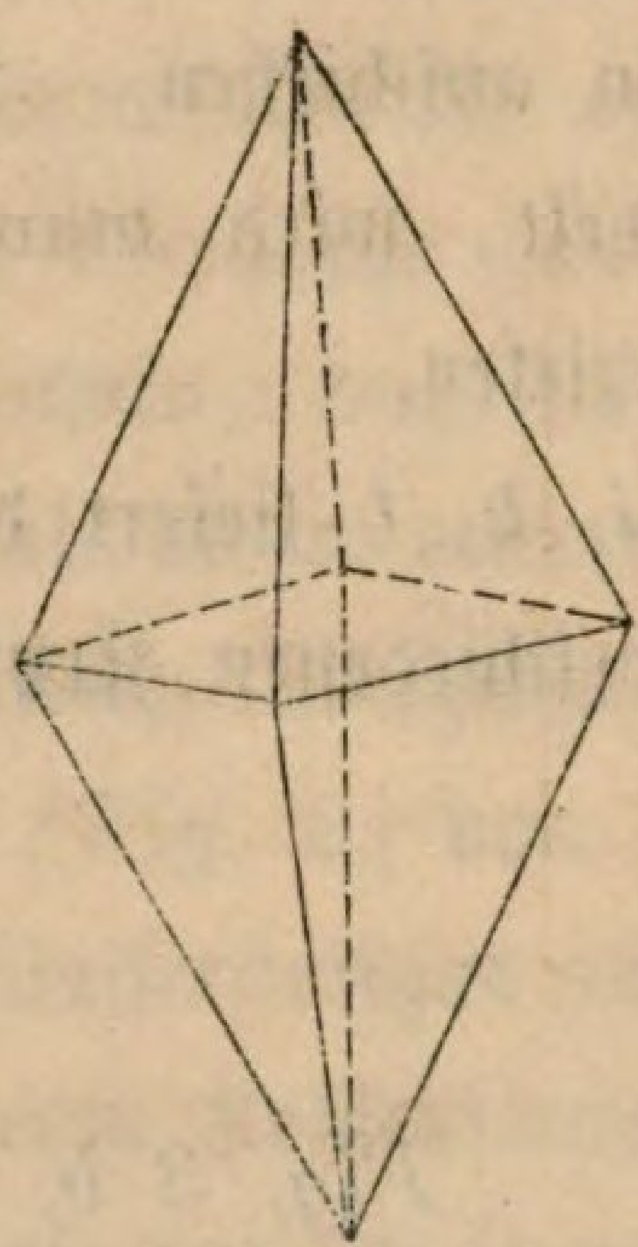


Fig. 3 f.

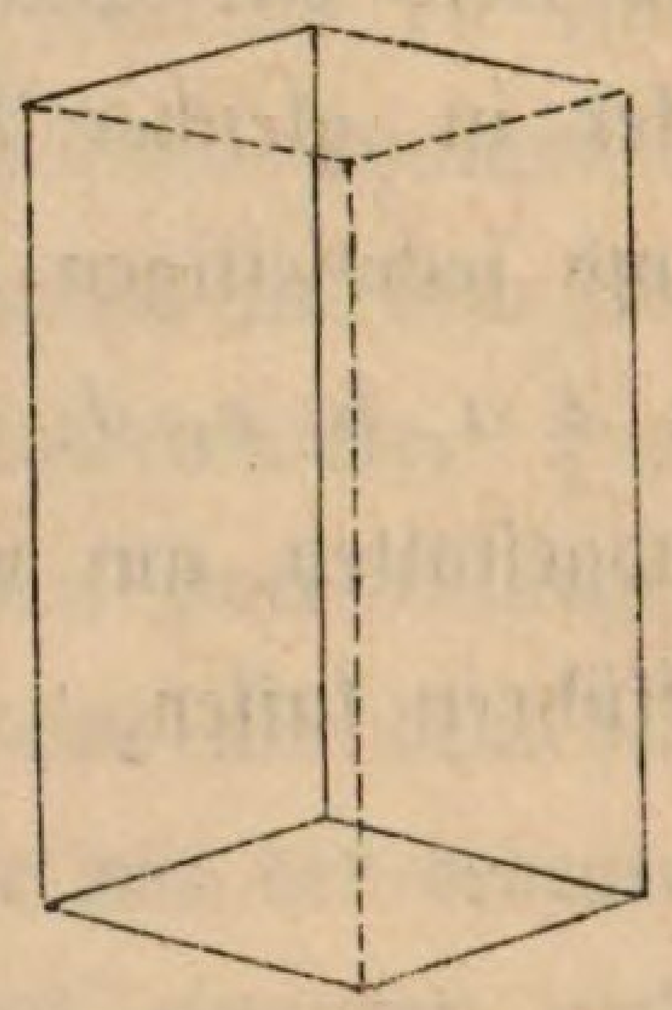


Fig. 3 g.

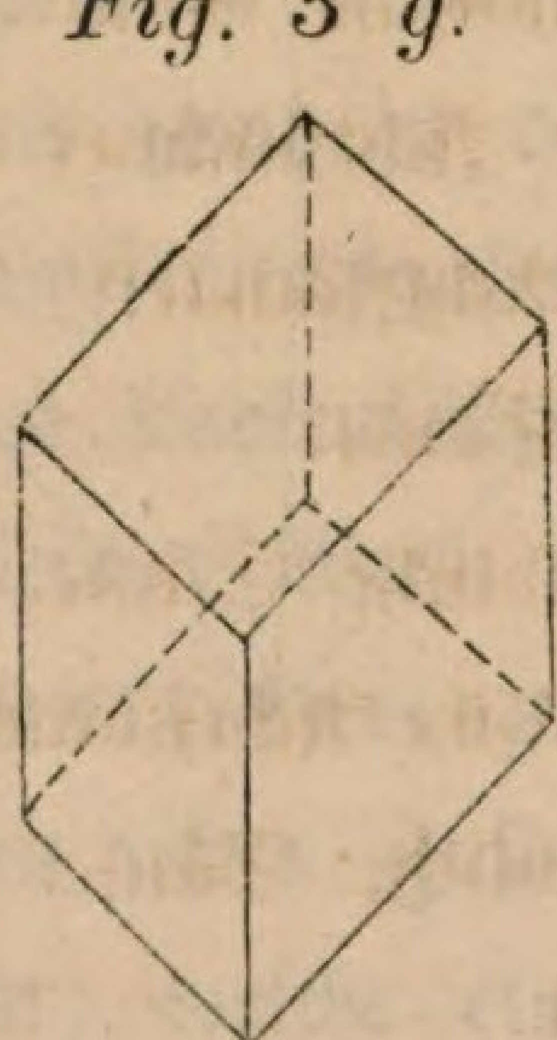


Fig. 3 h.

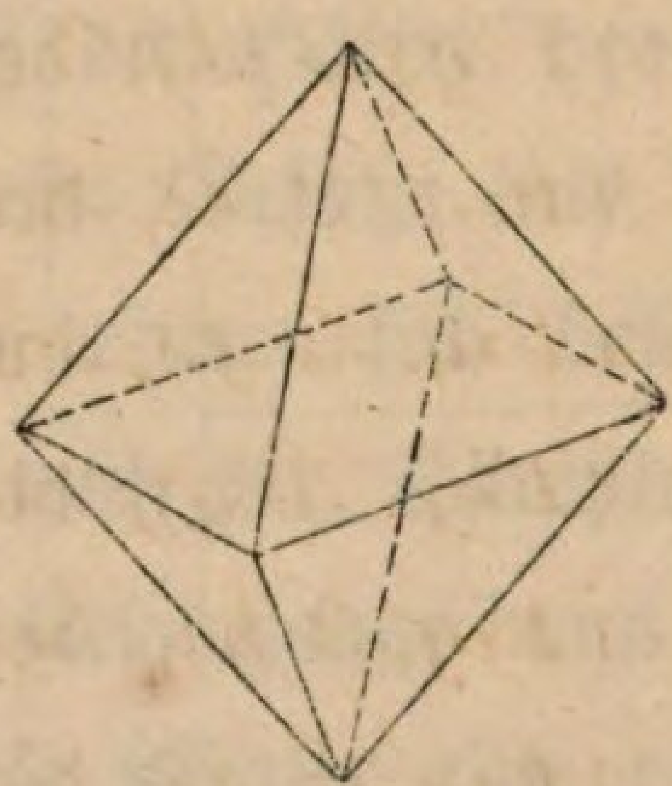


Fig. 3 i.

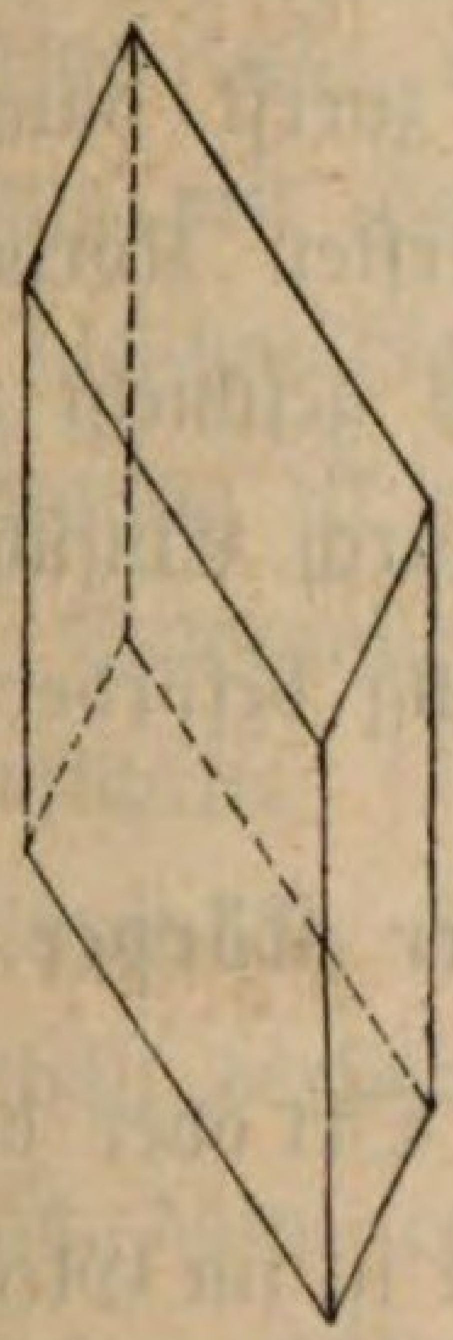


Fig. 3 k.

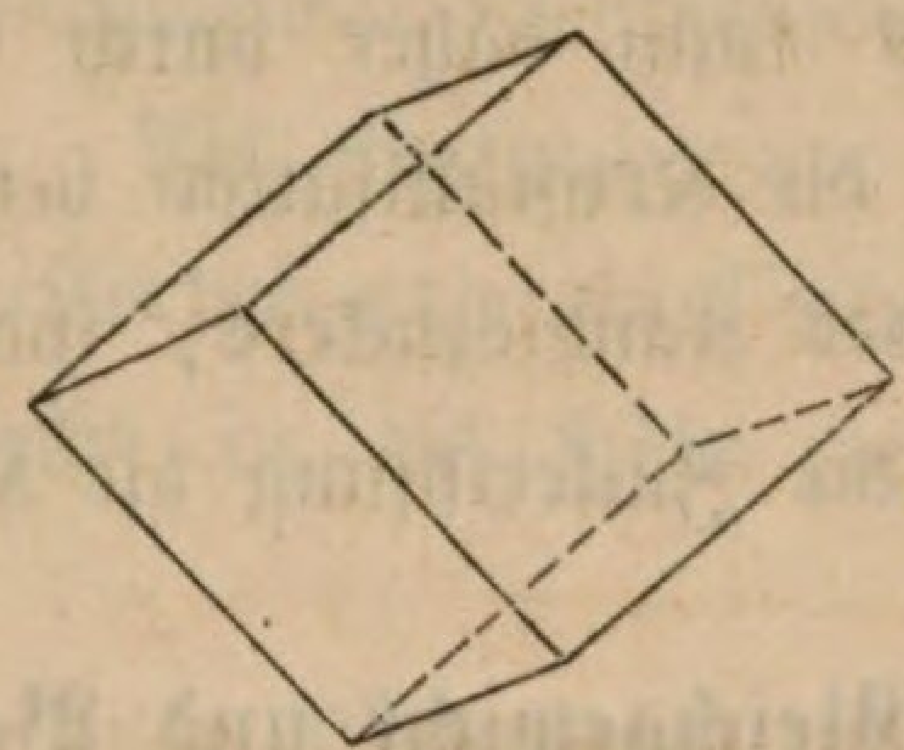
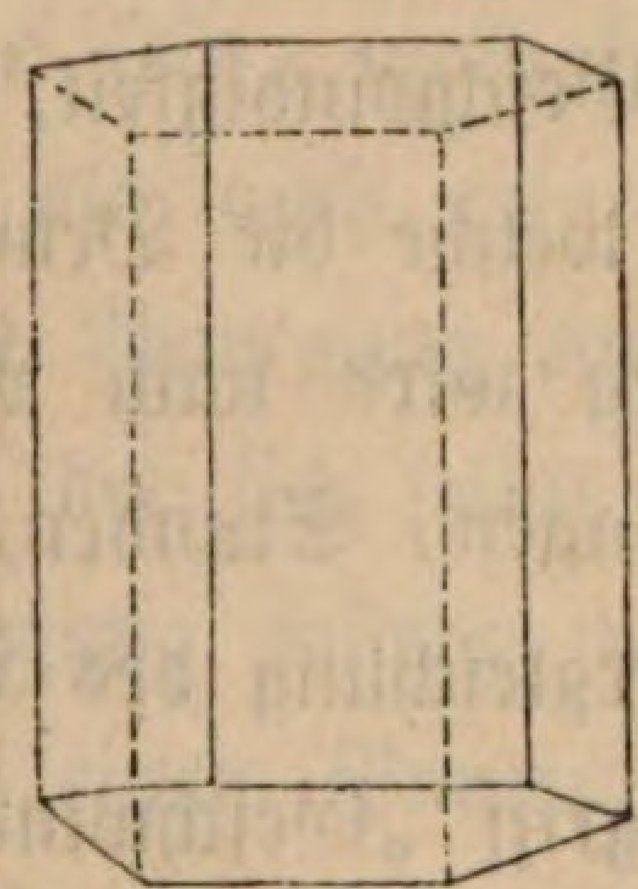


Fig. 3 l.



(Fig. 3 a), der Würfel.
(Fig. 3 b), der regelmäßige Achtflächner.
(Fig. 3 c), die gerade rhombische Säule.
(Fig. 3 d), der quadratische Achtflächner.
(Fig. 3 e), der rhombische Achtflächner.
(Fig. 3 f), die rhombische Säule.
(Fig. 3 g), die schiefe rhombische Säule.
(Fig. 3 h), der schief-rhombische Achtflächner.
(Fig. 3 i), die schiefe rhombische Säule.
(Fig. 3 k), das Rhomboëder.
(Fig. 3 l), die sechsseitige Säule.

Da nun die Krystalle bei ihrer Bildung oder Krystallisation sich gern an feste Körper anlegen, so werden die Wände und der Boden der betreffenden Gefäße zuerst damit bedeckt sein; man kann daher durch Einstellen fester Körper in die Flüssigkeit die Krystallisation befördern; dies geschieht z. B. zur Bildung des Kandiszuckers, indem man durch Einführung von Fäden in die Zuckerlösung die Krystallbildung befördert.

Gleichgewicht und Bewegung der Körper.

Ein Körper bewegt sich, wenn er seinen Ort oder die Stelle, welche er im Raume einnimmt, verändert; er ist im Gleichgewicht, wenn alle auf ihn wirkenden Kräfte sich gegenseitig vernichten.

Bei einer jeden Bewegung ist der Weg, den der Körper zurücklegt, die Zeit, die Geschwindigkeit, die Masse des bewegten Körpers und die Kraft, welche die Bewegung hervorbringt, zu berücksichtigen. Der Weg wird nach Meilen, Fußen und dgl., die Zeit nach Jahren, Tagen, Stunden, Secunden u. s. w. gemessen und durch die Vergleichung des Weges mit der Zeit gelangt man zu dem Begriff „Geschwindigkeit." Legt nun ein Körper in gleichen Zeiten immer gleiche Wege zurück, so versteht man unter Geschwindigkeit den Weg, welchen ein Körper in einer Zeiteinheit (gewöhnlich eine Secunde) zurücklegt. Legt ein Körper in gleichen Zeiten ungleiche Wege zurück, so versteht man unter Geschwindigkeit den Weg, welchen der Körper in der Zeiteinheit zurücklegen würde, wenn der Zustand der Bewegung, in welchem er sich in einem bestimmten Augenblick befindet, unverändert fortdauert.

Durchläuft ein Körper in gleichen Zeiten gleiche Räume oder bleibt die Geschwindigkeit der Bewegung beständig dieselbe, so heißt diese eine gleichförmige; ändert sich dagegen die Geschwindigkeit, oder legt der Körper in gleichen Zeiten ungleich große Räume zurück, so heißt die Bewegung ungleichförmig.

Bewegt sich ein Körper der Art, daß seine Geschwindigkeit in jedem folgenden Zeittheilchen gleichmäßig zunimmt, so ist seine Bewegung eine stetig- oder gleichmäßig beschleunigte; erfolgt aber die Bewegung mit gleichmäßig abnehmender Geschwindigkeit, so ist sie eine gleichmäßig verzögerte. Als Beispiel einer beschleunigten Bewegung ist ein fallender Körper und als Beispiel einer verzögerten Bewegung ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper anzuführen.

Durchläuft der Körper bei seiner Bewegung eine gerade Linie, so behält derselbe stets dieselbe Richtung bei und die Bewegung heißt dann eine geradlinige; nimmt er aber in jedem Punkt eine andere Richtung, so ist die Bewegung eine krummlinige.

Der Gegensatz von Bewegung ist Ruhe. Beide Zustände können auch nur scheinbar sein, weshalb man sowohl relative und absolute Bewegung, als auch relative und absolute Ruhe zu unterscheiden hat. Jede Bewegung eines Körpers ist in Beziehung auf einen andern, der sich selbst bewegt, eine relative; von einer absoluten Bewegung würde nur dann die Rede sein können, wenn wir uns auf einem Punkte oder Körper im Weltraume befänden, der selbst in absoluter Ruhe sich befände; da aber das ganze Weltgebäude sich in steter Bewegung befindet, so giebt es einen solchen Punkt nicht und von einer absoluten Ruhe kann daher nur in sofern die Rede sein, wenn wir uns die Erde stillstehend denken.

Die Bewegung eines Körpers wird durch eine Kraft bewirkt, aber es können auch mehrere Kräfte in gleicher oder entgegengesetzter Richtung unter verschiedenen Winkeln auf den Körper wirken; wodurch auf die Geschwindigkeit und die Richtung des Körpers ein wesentlicher Einfluß ausgeübt wird. Da wir aber die Kräfte selbst nicht wahrzunehmen im Stande sind, sondern nur auf das Vorhandensein derselben aus ihren Wir-

kungen schließen, so werden wir auch nach diesen die Größe der bewegenden Kräfte beobachten müssen. Eine Kraft wird daher um so größer sein müssen, je größer die Geschwindigkeit ist, welche sie einem Körper ertheilt und je größer die Masse des Körpers ist.

Stellen sich der Bewegung des Körpers Ursachen entgegen, welche dieselbe hemmen oder eine entgegengesetzte Richtung derselben bewirken, so nennt man jene Ursache Widerstand.

Jeder Körper beharrt so lange im Zustande der Ruhe oder Bewegung, bis er durch irgend eine äußere Ursache, d. h. durch einen Widerstand daran verhindert wird und jene Eigenschaft nennt man die Trägheit oder das Beharrungsvermögen. Ein Körper kann seinen Zustand der Ruhe und Bewegung nicht selbst ändern, ein Gesetz, woraus sich eine Menge täglich vorkommender Erscheinungen erklären, z. B. wenn ein Fahrzeug mit Menschen besetzt in Bewegung gesetzt ist und plötzlich an's Ufer stößt, so werden die Insassen mit dem Oberkörper nach vorn fallen, weil sie in derselben Fortbewegung, wie das Fahrzeug begriffen sind und für ihren Theil dieselbe fortzusetzen streben. Ein Schwanken der Fahrenden tritt dagegen ein, wenn ein stillstehendes Fuhrwerk plötzlich in Bewegung gesetzt wird.

Eine ununterbrochene Bewegung finden wir nur bei den Himmelskörpern, denn auf unserer Erde muß jede Bewegung früher oder später aufhören, da verschiedene Widerstände derselben entgegentreten, so z. B. die Schwere, die Reibung und der Widerstand der Luft. Werfen wir z. B. eine Kugel über eine ganz glatte Fläche, so wird sie weiter laufen, als wenn wir sie über eine rauhe Fläche werfen, da im ersteren Fall die Reibungswiderstände geringer sind, als im letzteren.

Als Beispiele der beschleunigten und verzögerten Bewegung

wurden ein fallender Körper und ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper angeführt, wie uns später die Gesetze vom Fall der Körper und der Wurfbewegung noch deutlicher machen werden. Untersuchen wir aber nun, welche Resultate erzielt werden, wenn zwei oder mehrere Kräfte auf einen Körper wirken. Das Resultat sind zusammengesetzte Bewegungen, wenn nicht die wirkenden Kräfte sich gegenseitig aufheben.

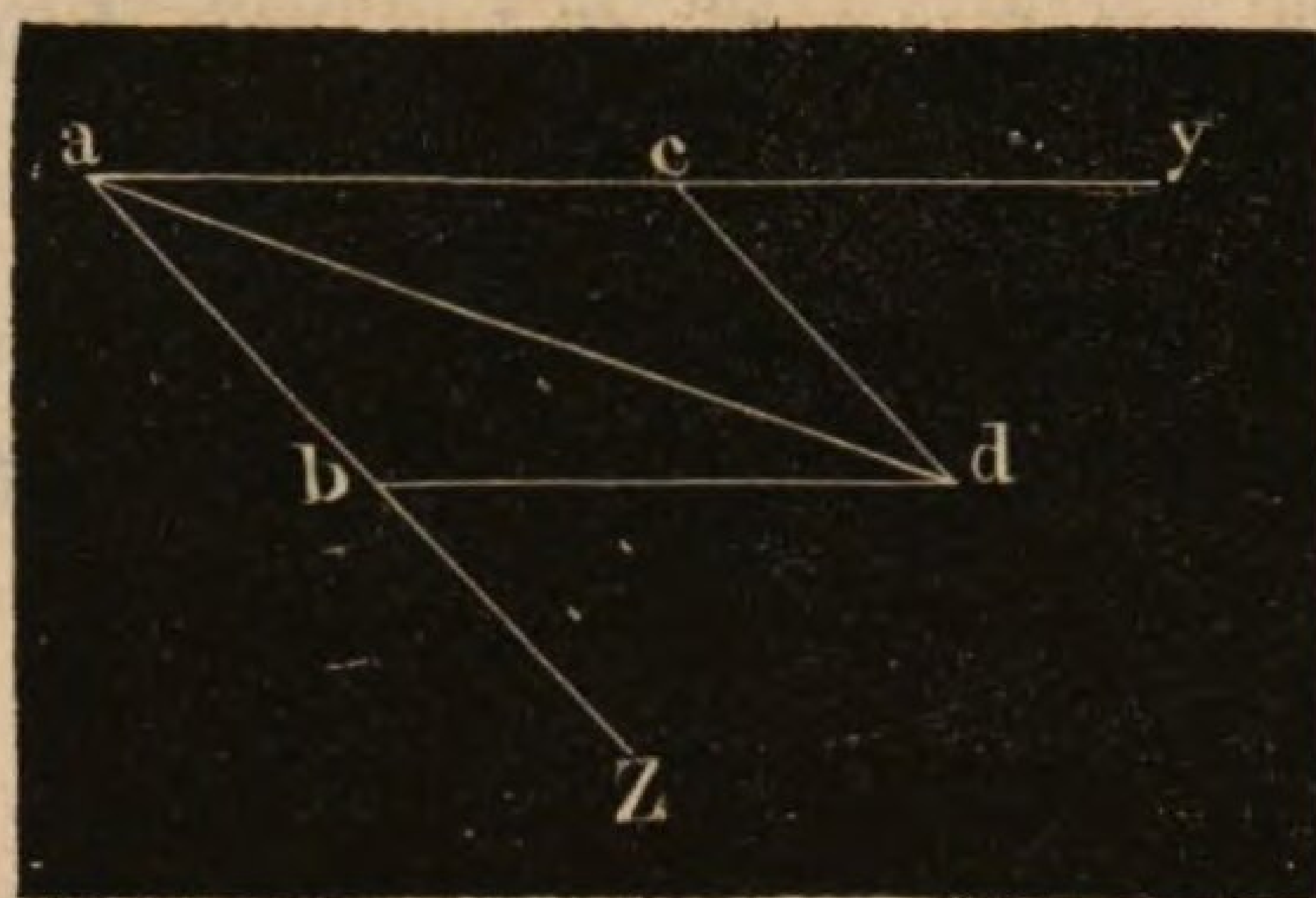
Wirken zwei Kräfte in verschiedenen jedoch nicht gerade entgegengesetzten Richtungen, also unter irgend einem Winkel auf einen Körper ein, so kann derselbe nicht jeder Kraft einzeln folgen, sondern es wird gleichsam eine neue Kraft gebildet, welche ebenso wirkt, wie die beiden Kräfte, aus denen sie resultirt, zusammengenommen. Sie heißt dann die Mittelkraft oder die Resultante, die ursprünglichen Kräfte aber die Seitenkräfte.

Wirken zwei oder mehrere Kräfte nach derselben Richtung hin, so ist ihre resultirende gleich der Summe der einzelnen Kräfte.

Wirken zwei Kräfte in gerade entgegengesetzter Richtung auf einen Punkt ein, so ist die resultirende gleich der Differenz der beiden und wirkt in der Richtung der größeren. Machen die Richtungen zweier Kräfte, welche auf einen materiellen Punkt wirken, einen Winkel mit einander, so findet man die resultirende nach einem Gesetz, welches unter dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte bekannt ist, wodurch wir nicht allein die aus den Richtungen verschiedener Kräfte resultirende mittlere Richtung kennen lernen, sondern die uns zugleich auch mit der mittleren Kraft oder der mittleren Geschwindigkeit bekannt macht, denn Kräfte und Geschwindigkeit verhalten sich stets gleich.

Zu diesem Gesetz gelangt man durch folgende einfache Betrachtung; auf den Punkt a *(Fig. 4)* sollen zwei Kräfte nach den Richtungslinien a Z und a y gleichzeitig einwirken. Nehmen wir nun an, daß die eine Kraft für sich allein in einem

Fig. 4.

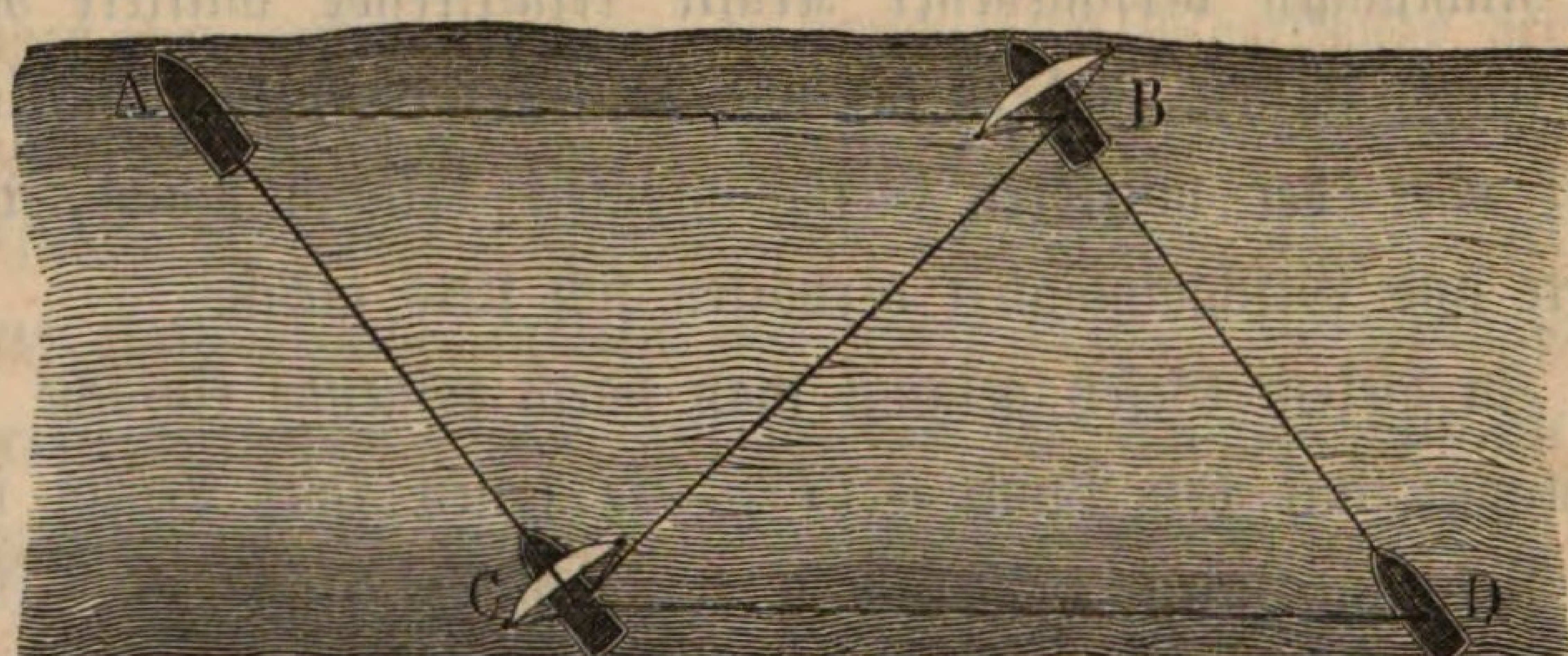


bestimmten Zeittheilchen, etwa einer Secunde, einen Körper von a nach c bewegen, während die andere größere ihn in derselben Zeit von a nach b bringen würde; wirken dagegen beide Kräfte gleichzeitig, so geht der Körper in einer Secunde von a nach d. Denn, wenn der Körper eine Secunde lang der gleichzeitigen Einwirkung beider Kräfte ausgesetzt ist, so ist die Wirkung offenbar dieselbe, als ob eine Secunde lang der Körper nur der Einwirkung der einen, in der folgenden Secunde aber nur der Einwirkung der andern unterworfen wäre.

Die eine Kraft allein treibt den Körper in einer Secunde von a nach b. Hörte nun in dem Augenblick, in welchem er in b ankommt, alle Wirkung dieser Kraft auf, während der Körper von nun an nur der Einwirkung der zweiten Kraft folgt, so würde er am Ende der folgenden Secunde in d ankommen. In demselben Punkte d muß also auch der Körper a nach einer Secunde anlangen, wenn beide Kräfte gleichzeitig wirken.

Durch ein Beispiel wird dies klarer werden. Nehmen wir an, es werde von dem Punkte C *(Fig. 5)* an dem Ufer eines

Fig. 5.



Flusses ein Schiff gleichzeitig durch zwei Kräfte, den Strom und den Wind fortgetrieben; das Schiff werde aber durch den Wind allein in einer bestimmten Zeit, etwa einer Viertelstunde quer über den Fluß von C nach A getrieben; durch den Strom allein würde es, wenn gar kein Wind ginge, in derselben Zeit von C nach D gelangen, mithin muß es, wenn Strom und Wind gleichzeitig wirken, in einer Viertelstunde den Weg von C bis B zurücklegen, d. h. es muß nach einer Viertelstunde unter gleichzeitiger Einwirkung beider Kräfte in demselben Punkte B ankommen, als ob eine Viertelstunde lang der Wind alleinwirkend das Schiff von C—A getrieben hätte und es alsdann in der folgenden Viertelstunde durch den Strom allein von A nach B geführt wäre.

Die Linie B C ist die Diagonale des Parallelogramms A B D C und zeigt sowohl die Richtung, als auch die Größe der resultirenden Kraft, und das durch unsere Betrachtung gefundene Gesetz kann demnach folgendermaßen ausgedrückt werden: Die Resultirende zweier Kräfte, welche gleichzeitig unter irgend einem Winkel auf einen materiellen Punkt einwirken, ist von der Art, daß sie den Punkt durch die Diagonale des Parallelogramms zu bewegen strebt, welches man aus den Bahnen construiren kann, welche jeder der Seitenkräfte entsprechen.

Wirken auf einen Punkt mehrere Kräfte, so wird die Resultirende gefunden, wenn man zwei Kräfte zu einer Mittelkraft verbindet, diese dann mit der dritten in eine vereinigt u. s. w.

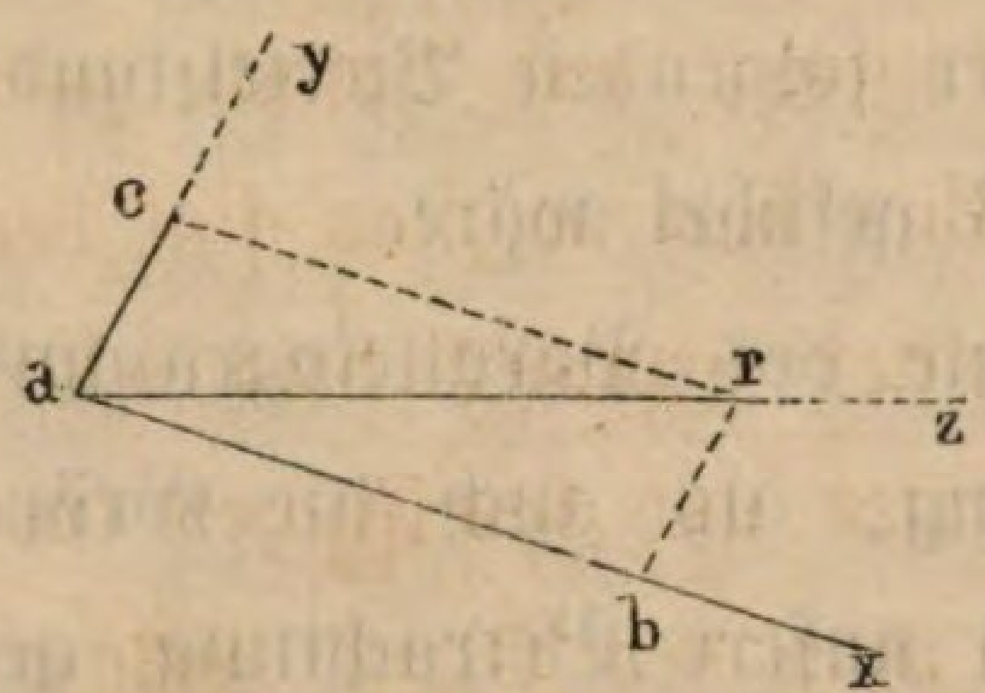
Sollen drei Kräfte, welche auf einen Punkt wirken, sich das Gleichgewicht halten, so muß die Resultirende von zweien der dritten gerade gleich und entgegengesetzt sein.

Da die Resultirende zweier Kräfte gefunden werden kann, so findet man auch leicht die Resultirende einer beliebigen Anzahl von Kräften. Man sucht nämlich nur die Resultirende der beiden ersten Kräfte, verbindet alsdann die Resultirende der eben

gefundenen mit der dritten Kraft; verbindet diese Resultirende wieder mit der vierten Kraft u. s w.

Da zwei Kräfte durch eine einzige ersetzt werden können, so kann umgekehrt eine Kraft auch durch zwei andere ersetzt werden. Es können demnach unzählig viele Systeme von zwei Kräften dieselbe Resultirende haben, aber auch umgekehrt kann eine Kraft auf unzählig viele verschiedene Arten durch ein System von zwei Kräften ersetzt werden. Sollte jedoch z. B. die Kraft a r *(Fig. 6)* durch zwei andere ersetzt werden, deren eine die Richtung a y und die Größe a c haben soll, so ist die Aufgabe vollkommen bestimmt, weil es jetzt nur noch eine Art giebt, das Parallelogramm zu vollenden und die Seitenkraft a b zu finden.

Fig. 6.



Ein praktisches Beispiel von der Zerlegung der Kräfte bietet die schiefe Ebene, wovon weiter unten die Rede sein wird.

Schwerkraft oder Schwere.

Hält man einen Stein oder ein Stück Metall in der Hand, so empfindet man einen Druck, der die Hand nach unten zieht und wirft man den Stein in die Höhe, so sieht man ihn nur kurze Zeit steigen, worauf er dann zur Erde fällt. Die Kraft, welche solche Erscheinungen hervorruft, heißt Schwere oder allgemeine Anziehung, deren Wirkung sich nicht auf kleine Entfernungen, sondern auf jede Weite erstreckt. Sie wirkt in der Weise, daß jedes Theilchen eines Körpers jedes Theilchen eines andern anzieht und die Größe dieser Anziehung ist außerdem gänzlich unabhängig von der physikalischen Natur, nicht aber von der Masse und Entfernung der Körper, indem sie sich direct wie die Masse des anziehenden Körpers und umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung der Körper verhält.

Diese allgemeine Anziehungs- oder Schwerkraft ist aller und jeder Materie, sowohl dem kleinsten Sandkorn, als auch dem größten Weltkörper eigen; sie ist Ursache, daß ein Regentropfen zur Erde fällt, und die im Weltraum schweifenden Körper einander folgen. Sie ist an allen Punkten der Erde gegen den Mittelpunkt gerichtet, wie wir dies bei jedem frei herabfallenden Körper wahrnehmen.

Das Gewicht der Körper. Den Druck, welchen die Körper auf ihre Unterlage, die sie zu fallen verhindert, ausüben, nennt man das Gewicht, und mithin unterscheiden sich Schwere oder Schwerkraft und Gewicht von einander, wie Ursache und Wirkung. Zur Bestimmung des Gewichts bedient man sich der Wage, eines Instruments, welches später genauer beschrieben werden wird. Man unterscheidet absolutes und specifisches Gewicht; unter absolutem Gewicht versteht man den Druck, welchen ein Körper vermöge der Schwere auf eine Unterlage ausübt, oder die Summe der Masseneinheiten, welche der Schwere des Körpers entsprechen. Spricht man daher von einem Körper, daß er schwerer sei, als ein anderer, so will das sagen, er besitzt ein größeres absolutes Gewicht, oder seine Masseneinheiten sind an Zahl beträchtlicher, als die eines anderen, ohne daß man das Volumen oder den Umfang des Körpers dabei berücksichtigt. Um aber von dem wirklichen absoluten Gewicht sich Rechenschaft geben zu können, hat man gewisse Gewichtseinheiten entworfen, die als Normen dienen und nach denen man normirte Gewichte in Gebrauch genommen hat.

Je nach verschiedenen Ländern hat man verschieden normirte Gewichte, Centner, Pfunde, Loth, Quint, z. B. 1 Pfund = 10 Loth, 1 Loth = 10 Quint, 1 Quint = 10 Halbgramm, oder nach früherem Gewichtsmaß 1 Pfund = 32 Loth, 1 Loth = 4 Quentchen, 100 Pfund = 1 Centner. Beim Medicinalge-

wicht ist das Pfund = 24 Loth oder 12 Unzen, 1 Unze = 8 Drachmen, 1 Drachme = 3 Scrupel, 1 Scrupel = 20 Gran. Für wissenschaftliche Zwecke wird gewöhnlich das französische Grammgewicht als Einheit zu Grunde gelegt. 1 Gramm ist nämlich das Gewicht, welches 1 Cubikcentimeter reinen Wassers bei der größten Dichtigkeit (bei + 4⁰ C.) hat; — 1 Cubikcentimeter = $^1/_{100}$ Cubikmeter, $^1/_{1000}$ Cubikmeter = 1 Liter = 55,9 rheinländisch Cubikzoll. Mit andern Gewichtseinheiten verglichen entspricht 1 Gramm 16,104 Gran Nürnberger Medicinalgewicht = 13,714 Wiener Apothekergran = 0,06841 preuß. Loth (alten Gewichts), 1 Gramm hat 10 Decigramm, 1 Decigramm = 10 Centigramm, 1 Centigramm = 10 Milligramm. 10 Gramme sind = 1 Decagramm, 100 Gramm = 1 Hektogramm, 1000 Gramm = 1 Kilogramm.

Wenn wir nun bedenken, daß die Erde keine vollkommene Kugel, sondern an ihren Polen abgeplattet ist und ihr Durchmesser am Aequator um ungefähr 6 Meilen größer ist, als der zwischen den beiden Polen, so muß die Schwere nach dem erwähnten Anziehungsgesetz nothwendig auf die am Pol befindlichen Körper stärker wirken, als auf die am Aequator. Außerdem haben die Körper am Aequator wegen des größern Kreises, den sie bei der Achsendrehung der Erde beschreiben, ein größeres Bestreben sich von der Oberfläche der Erde zu entfernen, als in den höhern Breitegraden, wo sie kleinere Kreise beschreiben. Diese beiden Ursachen veranlassen, daß die Körper um so leichter sind, je näher dem Aequator, und um so schwerer, je näher den Polen sie sich befinden. Ein und derselbe Körper würde also vom Aequator gegen einen der Pole hingetragen am Gewicht fortwährend zunehmen. Diese Gewichtsverschiedenheit beträgt zwischen Aequator und Pol ungefähr $^1/_2$ Pfund; so daß also eine am Pol gewogene Last von 100 Pfund am Aequator nur noch 99$^1/_2$ Pfund betragen würde.

Eine ähnliche Verschiedenheit in der Stärke der Schwere findet auch im Gewicht bei Körpern Statt, welche sich in verschiedenen Höhen über der Erdoberfläche befinden. Auf hohen Bergen ist die Schwere geringer, als im Thale. Ebenso nimmt aber auch die Schwere im Innern der Erde mit der Tiefe ab, was auf den ersten Augenblick überraschen dürfte. Bedenken wir aber, daß, je näher wir im Innern der Erde dem Mittelpunkte derselben kommen, wir einen um so beträchtlicheren Abschnitt der Erdkugel hinter uns zurücklassen, so wird uns die Sache klar werden, denn dieser Abschnitt zieht durch seine Schwerkraft die betreffende Last nach oben und wirkt mithin derjenigen entgegen, welche dieselbe gegen den Erdmittelpunkt zieht, wodurch also das Gewicht des Körpers vermindert wird. Wäre es möglich bis zum Erdmittelpunkt hinabzusteigen, so würde die Last ihr Gewicht ganz verlieren, da dort die Anziehung nach allen Seiten gleich stark wird.

Bis jetzt ist nur von dem absoluten Gewichte der Körper die Rede gewesen, fragen wir uns nun, welchen Begriff man mit dem **specifischen** Gewicht verbindet.

Das **specifische** Gewicht ist ein relatives Gewicht, welches sich auf die Dichtigkeit der Körper, bei gleichem Volumen, bezieht oder mit andern Worten: das specifische Gewicht der verschiedenen Körper ist das Resultat der Gewichtseinheiten bei gleichem Volumen, d. h. das specifische Gewicht der Körper wird gefunden, wenn wir mehrere Körper von gleichem Umfang, dem Gewichte nach, mit einander vergleichen. Sagt man z. B., Eisen ist schwerer als Holz, Weingeist leichter als Wasser, so will man damit andeuten, daß diese Substanzen und Flüssigkeiten bei gleichem Rauminhalt eine Gewichtsverschiedenheit zeigen, daß nämlich eine beliebige Menge Eisen schwerer sei, als eine dem Raume nach gleiche Menge Holz, daß eine beliebige Menge

Weingeist leichter sei, als eine dem Volumen nach gleich große Menge Wassers. Die Benennung „relatives Gewicht" sagt uns schon, daß man zur Bestimmung des specifischen Gewichts nur die Gewichte der Körper, im Vergleich zu einem bestimmten Körper von gleichem Volumen zu ermitteln hat; man muß also einen Körper als Einheit annehmen, und zwar ist dieser als Einheit angenommene Körper für feste und flüssige Körper, Wasser, bei seiner größten Dichtigkeit; das spec. Gewicht eines festen und flüssigen Körpers ist mithin die Zahl, welche angiebt, wie viel mal derselbe bei gleichem Rauminhalt schwerer ist, als Wasser; sagt man daher z. B. das specifische Gewicht eines festen Körpers sei 6,5, so hat man darunter zu verstehen, daß er bei gleichem Volumen $6\frac{1}{2}$ mal mehr wiege, als ein gleicher Raum Wassers.

Für gasförmige Körper nimmt man die atmosphärische Luft zur Einheit an; so hat z. B. die Kohlensäure ein spec. Gewicht von 1,5, d. h. sie ist $1\frac{1}{2}$ mal so schwer, als die atmosphärische Luft, welche letztere 733 mal leichter ist, als Wasser von der größten Dichtigkeit.

(Ueber die verschiedenen Bestimmungsarten des specifischen Gewichts s. weiter unten.)

Schwerpunkt. In jedem schweren Körper giebt es einen Punkt, bei dessen Unterstützung der Körper ruht; dieser Punkt heißt der Schwerpunkt.

Denken wir uns die Schwere der Erde als in ihrem Mittelpunkt concentrirt, so können wir auch das Gewicht eines Körpers uns in einen Punkt vereint denken. Wenn wir nun, wie in Vorstehendem gezeigt worden ist, annehmen, daß mehrere Kräfte, welche an einem festverbundenen Systeme von Punkten wirken, durch eine einzige Kraft, welche man die Resultante jener Kräfte nennt, ersetzt werden können, daß ferner für parallele

und nach einer Seite hin wirkende Kräfte diese Resultante genau so groß ist, wie die Summe der einzelnen Kräfte, und ihre Richtung den Richtungen derselben parallel ist, so wird uns dieses klarer werden. Da nun die Richtungen der kleinen Kräfte, von welchen die einzelnen materiellen Theilchen eines Körpers gegen den Mittelpunkt der Erde gezogen werden, ohne merklichen Fehler als parallel angenommen werden können, so wird auch die Resultante dieser Kräfte gleich ihrer Summe, d. h. gleich der Summe der Gewichte aller einzelnen Theilchen des Körpers sein; ihre Richtung wird ebenfalls nach dem Mittelpunkte der Erde gehen, und sie wird an einem gewissen mittleren Punkt angreifen, den man den Schwerpunkt nennt. Hieraus folgt, daß ein Körper nur so lange ruhen kann, wie sein Schwerpunkt unterstützt ist.

Die Frage ist nun, wie der Schwerpunkt eines Körpers gefunden wird, worauf zu antworten ist, daß dieses entweder auf mathematischem oder auf empirischem Wege geschehen kann. Der erstere Weg ist genauer, kann aber nur bei regelmäßig gestalteten Körpern eingeschlagen werden; der letztere Weg liefert kein so genaues Resultat, läßt sich aber bei den meisten noch so ungestalteten Körpern anwenden.

Bei der mathematischen Bestimmung geht man davon aus, daß der Schwerpunkt einer schweren oder als schwergedachten Linie nothwendig in deren Halbirungspunkt liegt, da wegen der gleichmäßigen Vertheilung des Gewichts zu beiden Seiten desselben kein Grund vorhanden ist, warum er eher auf der einen, als auf der andern Seite liegen soll.

Denken wir uns nun eine schwere Fläche aus lauter parallelen, schweren Linien bestehend und die Gewichte dieser in ihre Halbirungspunkte verlegt und so das ganze Gewicht der Fläche in einer aus der Reihe aller jener Halbirungspunkte bestehenden

schweren Linie vereinigt, so ist auf dieser Schwerlinie das Gewicht der Fläche entweder gleichförmig vertheilt, oder es haben die einzelnen Punkte derselben verschiedenes, mit der Länge und zugleich Schwere der Flächenelemente veränderliches Gewicht. Im ersten Fall ist der Schwerpunkt der Fläche in der Mitte der Schwerlinie; im zweiten Fall findet man ihn am einfachsten dadurch, daß man zwei solcher Schwerlinien bestimmt, deren Durchschnittspunkt zugleich der Schwerpunkt der ganzen Fläche sein muß, da dieser nothwendig auf beiden Schwerlinien zugleich liegt.

Denken wir uns z. B. durch ein Parallelogramm a p r s *(Fig. 7)* eine Schwerlinie d c gezogen, so liegt der Schwerpunkt in S. Soll auf der andern Seite der Schwerpunkt eines dreieckigen Bretts A B C *(Fig. 8.)* gefunden werden, so wird man denselben ermitteln, wenn man die Mitte zweier Seiten D und E mit den gegenüberliegenden Ecken C und A verbindet. Der Durchschnittspunkt S dieser Verbindungslinien ist der gesuchte Schwerpunkt, denn, wenn man sich das Dreieck A B C durch Linien parallel zu A B gezogen, in sehr schmale Streifen getheilt denkt, so werden diese Streifen sämmtlich durch C D halbirt. In der Linie C D müssen daher die Schwerpunkte aller Streifen und folglich auch der Schwerpunkt des Dreiecks liegen. Ebenso findet man, daß derselbe in der Linie A E liegt; er muß daher im Durchschnittspunkte S sein.

Fig. 7.

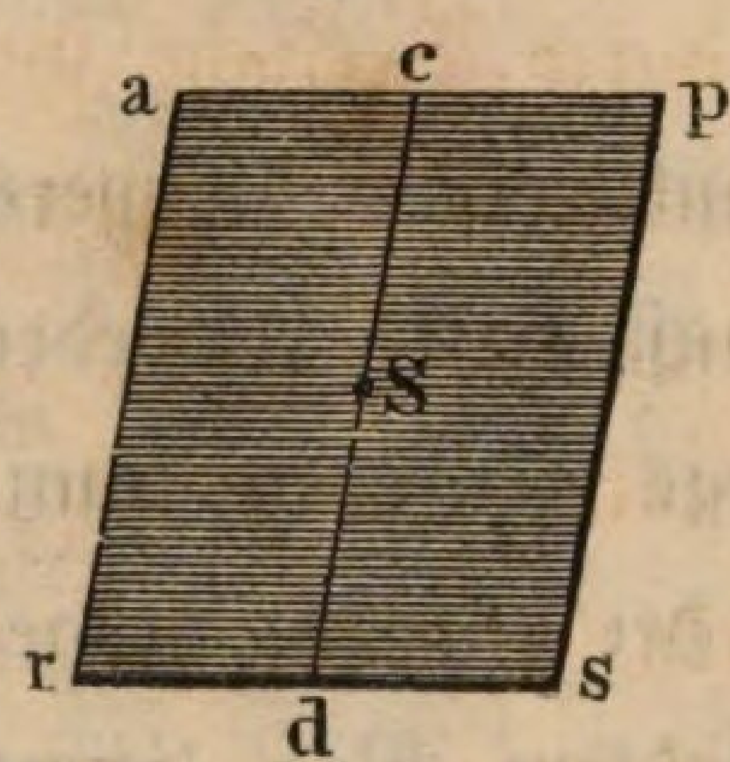
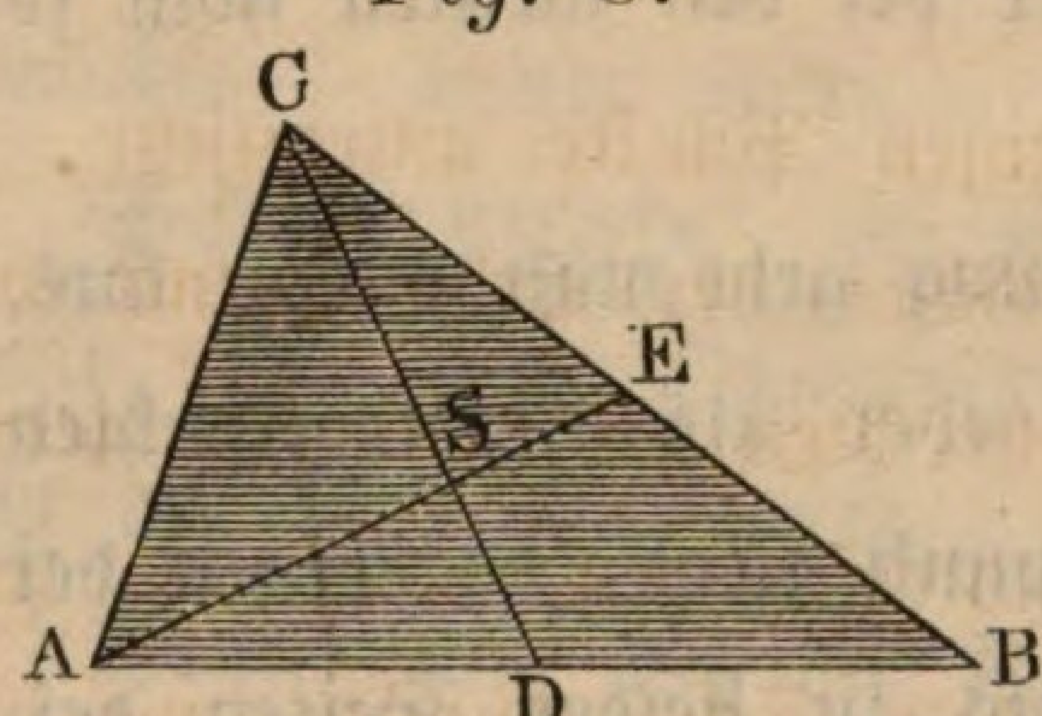


Fig. 8.



Der Schwerpunkt eines beliebigen Vielecks wird gefunden, wenn man dasselbe durch die Diagonale in Dreiecke zerschneidet;

die Schwerpunkte und Gewichte der einzelnen Dreiecke bestimmt, diese Gewichte, als parallele Kräfte ansieht und nach Anleitung des früher Gesagten den Mittelpunkt derselben sucht.

Der Schwerpunkt eines Kreises liegt im Mittelpunkt desselben. Der Schwerpunkt einer dreiseitigen Pyramide wird ermittelt, wenn man die Schwerpunkte zweier Dreiecke sucht, welche die Pyramide begrenzen und diese Punkte mit den gegenüberliegenden Ecken verbindet. Der Durchschnittspunkt dieser Verbindungslinien ist aus ähnlichen Gründen, wie sie bei dem dreieckigen Brett angegeben worden sind, der gesuchte Schwerpunkt. Da alle eckigen Körper sich in Pyramiden zerlegen lassen, so ist man auf angegebene Weise in den Stand gesetzt, ihre Schwerpunkte auf theoretischem Wege zu bestimmen.

Auf empirischem Wege oder praktisch durch Versuche findet man den Schwerpunkt eines Körpers, wenn man denselben an zwei beliebigen Stellen an einem Faden aufhängt.

Da nun der Schwerpunkt, wenn der Körper zur Ruhe gekommen ist, jedes Mal in der verlängerten Richtung des Fadens liegt, so schneiden sich diese Verlängerungen in dem gesuchten Schwerpunkt.

Ist ein Körper in einem einzigen Punkte unterstützt, so müssen für den Fall des Gleichgewichts der Schwerpunkt und der unterstützte Punkt in einer lothrechten Linie liegen, jedoch sind hierbei verschiedene Fälle zu unterscheiden. Erstens, liegt der unterstützte Punkt senkrecht über dem Schwerpunkte, wie dies bei einem aufgehängten Körper der Fall ist, so strebt der Körper, bei einer kleinen Verrückung von selbst in diese Lage zurückzukehren, und man sagt dann, der Körper befinde sich in stabilem Gleichgewicht; zweitens, fällt der Unterstützungspunkt in den Schwerpunkt, so ruht der Körper in jeder Lage; drittens, liegt der Unterstützungspunkt lothrecht unter dem Schwerpunkte, so

kann der Körper zwar in dieser Lage ruhen, aber er verändert dieselbe bei der kleinsten Verrückung gänzlich.

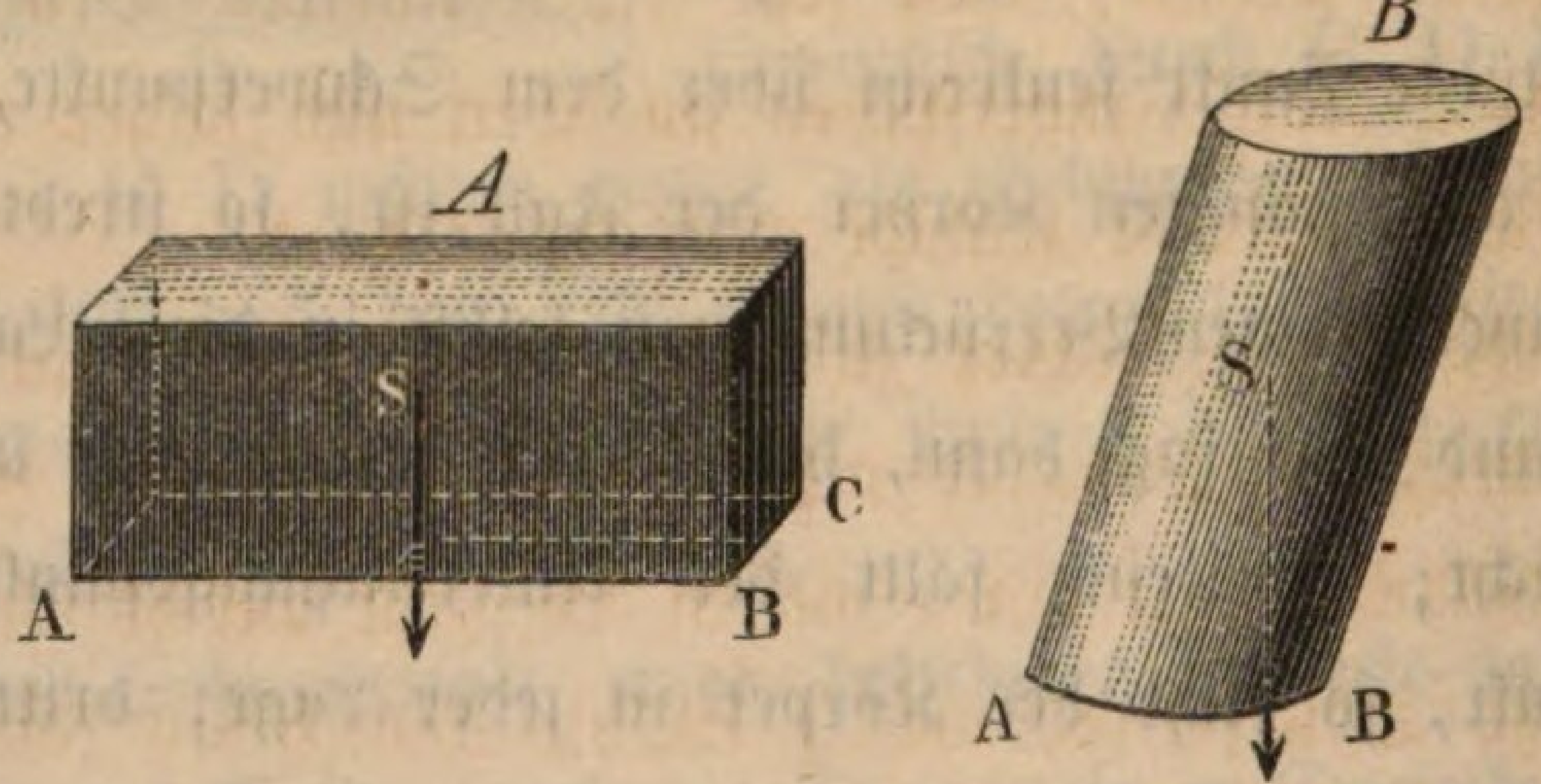
Soll ein von unten unterstützter Körper mit Stabilität oder Standfähigkeit ruhen, so müssen im Allgemeinen wenigstens drei Punkte desselben, welche nicht in gerader Linie liegen, unterstützt sein, und eine lothrechte Linie, durch den Schwerpunkt gezogen, muß durch die Fläche des Dreiecks gehen, welches die drei Punkte bestimmen. Ebenso muß, wenn ein Körper mit einer ganzen Fläche auf einer Unterlage mit Stabilität ruhen soll, eine durch den Schwerpunkt gezogene lothrechte Linie die unterstützte Fläche durchschneiden.

Ein Körper hat unter sonst gleichen Verhältnissen eine um so größere Standfähigkeit, je größer sein Gewicht ist.

Die Standfähigkeit eines Körpers ist ferner um so größer, je weiter die durch den Schwerpunkt gehende senkrechte Linie von dem Punkt oder der Kante entfernt ist, in welcher die Drehung erfolgen soll.

Die Gefahr eines Körpers, umgeworfen zu werden, ist unter sonst gleichen Verhältnissen um so geringer, je näher sein Schwerpunkt seiner Unterstützungsfläche liegt.

Beispiele für diese aufgeführten Wahrheiten finden sich mannichfacher Art im Leben. Wälzen wir einen vieleckigen Klotz oder Stein von beifolgender Form *(Fig. 9 A* und *B)* von einer



Stelle zur andern, so wird derselbe um die Kante A B sich leichter fortwälzen lassen, als wenn man ihn um B C dreht; ebenso wird ein schiefstehender Cylinder leichter auf die Seite des Punkts B, als auf die des Punkts A fallen, weil diese Verschiedenheit auf der verschiedenen Entfernung der durch den Schwerpunkt gehenden Vertikale von der Umdrehungskante beruht.

Der Schwerpunkt eines Menschen liegt ungefähr in der Mitte des Unterleibes, indem die Füße die Unterlage bilden, die verhältnißmäßig klein ist; sucht er aber die Füße weiter auseinander zu bringen, so wird auch die Standfähigkeit um so mehr wachsen. Läuft ein Mensch Gefahr, nach der linken Seite hin zu fallen, so sucht er durch Aufheben des rechten Arms den Körper wieder über den Schwerpunkt zu bringen. Trägt ein Mensch Lasten, so muß er je nach der Art des Tragens seine Stellung ändern; trägt er die Last auf dem Rücken, so muß er sich vorbeugen, trägt er sie in der linken Hand, so muß er den Oberkörper rechts neigen, denn sonst fiele der gemeinschaftliche Schwerpunkt des menschlichen Körpers und der getragenen Last außerhalb der Verbindungslinie der Füße, und mithin müßte er umfallen.

Die Kunst des Balancirens besteht darin, den unterstützten Punkt beständig in lothrechter Linie unter dem Schwerpunkt des balancirten Körpers zu halten, oder bei einer Abweichung wieder unter dieselbe zu bringen. Schwere Körper sind leichter zu balanciren, als leichte, weil jene einen stärkern Druck auf die Unterlage z. B. die Fingerspitzen ausüben und daher eine Veränderung dieses Drucks leichter empfunden wird.

Ein Körper ist leichter zu balanciren, wenn sein Schwerpunkt hoch liegt, als wenn er niedrig liegt, weil dann beim Umfallen der Schwerpunkt einen weiten Weg zu durchlaufen hat.

Manche Spielereien, wie z. B. die chinesischen Purzelmännchen finden ihre Erklärung in den Gesetzen des Schwerpunkts.

Soll durch eine Kraft irgend ein Körper bewegt werden, welcher sich außerhalb der Richtung befindet, in welcher diese Kraft wirkt, so bedarf es hierzu einer besondern Vorrichtung, welche man Maschine nennt, und zu solchen einfachen Maschinen gehört der Hebel, die Rolle, das Wellrad, die schiefe Ebene, der Keil und die Schraube.

Hebel.

Mit diesem Ausdruck bezeichnet man einen Balken oder Stab, der in einem seiner Punkte der Art unterstützt ist, daß er sich um denselben drehen kann und an welchem zwei Kräfte (Kraft und Last) wirken, die im entgegengesetzten Sinne zu drehen streben. Der unterstützte Punkt wird der Unterstützungs- oder Drehungspunkt und die Entfernung desselben von der Richtungslinie der Kräfte, d. h. die Perpendikel von jenem auf diesen die Arme des Hebels genannt.

Liegt der Unterstützungspunkt nebst den Angriffspunkten der Kräfte in einer geraden Linie, so heißt der Hebel geradlinig, bilden dagegen die Arme der Kraft und der Last einen Winkel mit einander, so haben wir einen Winkelhebel. — Greifen Kraft und Last auf einer Seite des Drehungspunktes an, so heißt der Hebel einarmig, dagegen zweiarmig, wenn ihre Angriffspunkte zu beiden Seiten des Drehungspunktes sich befinden, dieser also zwischen ihnen liegt. Ein solcher Hebel ist ein körperlicher oder physischer Hebel, während ein Hebel ohne Schwere oder gewichtlose Linie ein mathematischer Hebel genannt wird.

Denken wir uns nun zum genauern Verständniß einen solchen mathematischen Hebel als eine unbiegsame und schwere, gewichtlose Linie, auf welche als bewegende Kräfte Gewichte wirken, so haben wir es mit parallelen Kräften zu thun. Es wird sich dann mit Hülfe des Gesetzes für die Resultante pa-

ralleler Kräfte jedesmal die Bedingung des Gleichgewichts feststellen lassen; denn als erste und letzte Bedingung des Gleichgewichts muß uns stets die gelten, daß die Resultante der parallelen Kräfte durch den Unterstützungspunkt gehn.

Die ganze Wirkung der am Hebel thätigen Kräfte besteht alsdann darin, diesen gegen den Unterstützungspunkt anzudrücken und die Festigkeit dieses Punktes dient mithin als Gegenresultante. Diese stellt der eigentlichen Resultante einen ihr gleichen und direct entgegengesetzten Widerstand entgegen; so daß ihre Wirkung vollständig aufgehoben wird. Nehmen wir nun an, daß auf einen Hebel zwei Kräfte, r und s, Last und Kraft wirken, und beide an entgegengesetzten Seiten vom Unterstützungspunkte angebracht sind, so nennt man den Hebel **zweiarmig** *(Fig. 10 A)*; liegen aber beide an derselben Seite vom Unterstützungspunkte, so heißt der Hebel **einarmig** *(Fig. 10 B)*

Fig. 10 A.

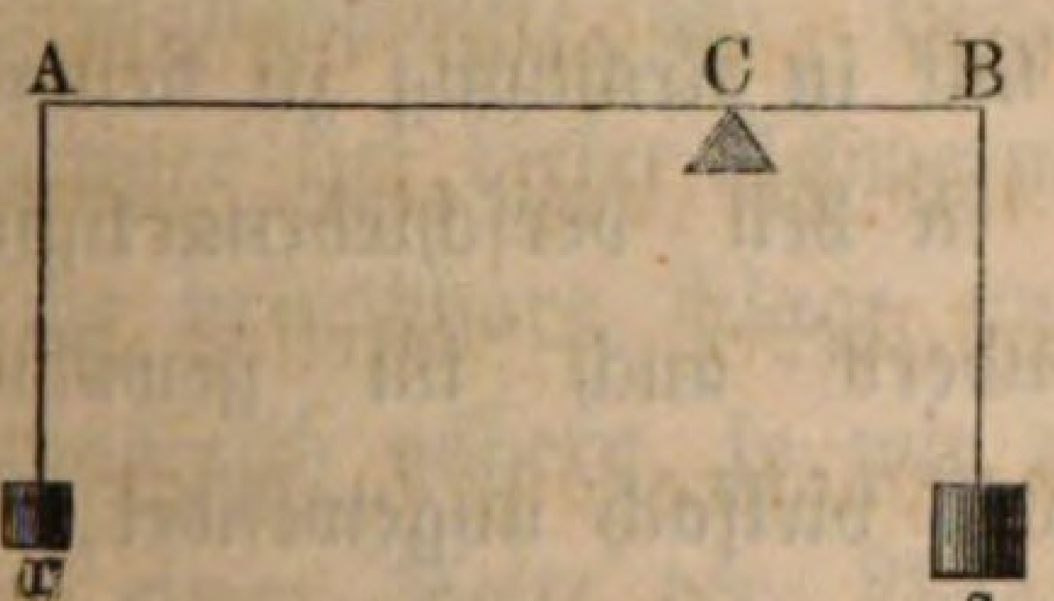
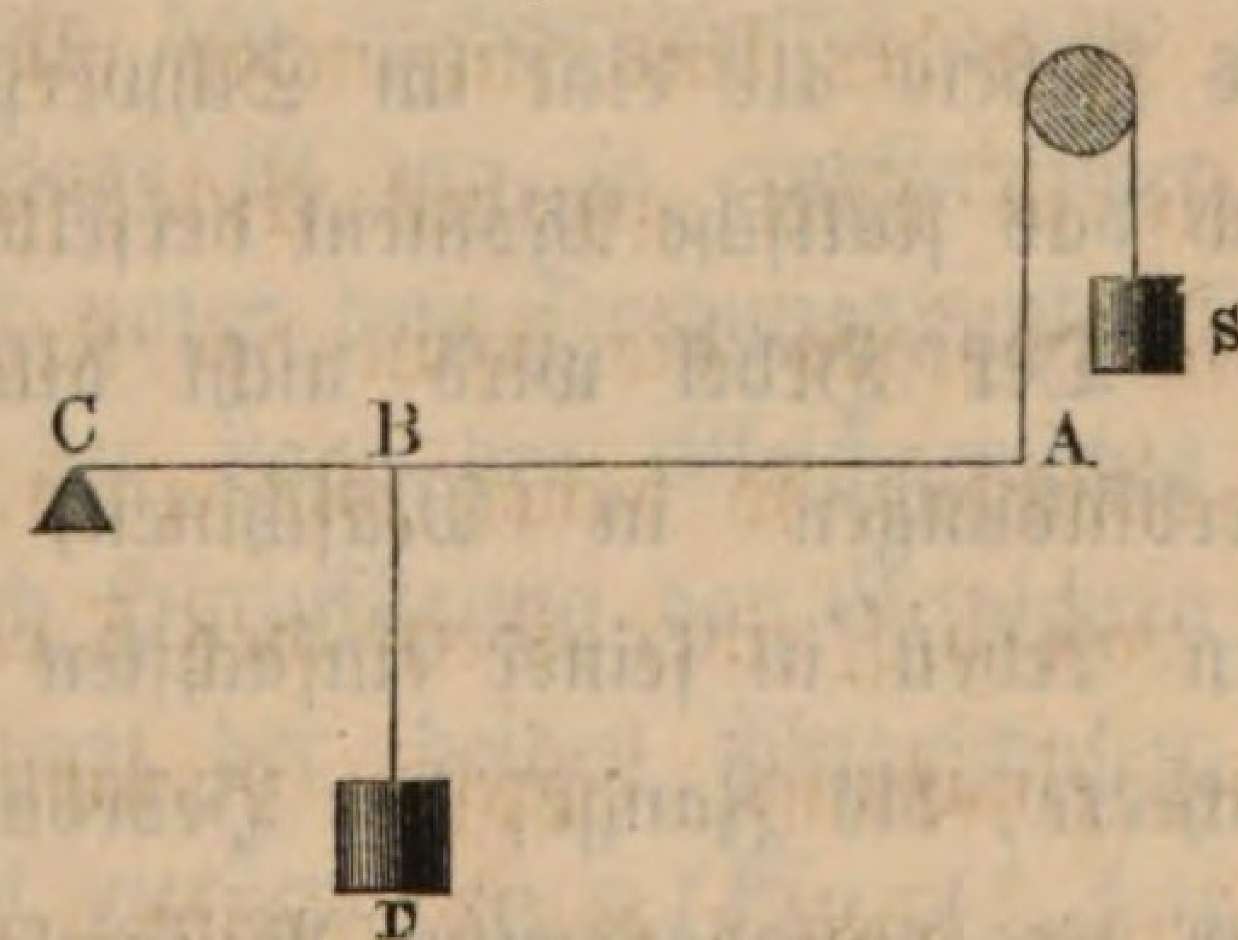


Fig. 10 B.



Je nach dem nun die Hebelarme eine gerade Linie oder einen Winkel bilden, oder aus krummen Linien bestehen, hat man geradlinige, winkel- und krummlinige Hebel zu unterscheiden. Von sämmtlichen Hebelarten bildet aber das Gesetz, daß das Gleichgewicht am Hebel dann vorhanden ist, wenn sich Kraft und Last umgekehrt verhalten, wie ihre senkrechten Entfernungen vom Unterstützungspunkte, also, wenn sich verhält r : s = B C : A C. Ist also z. B. A C dreimal so groß, als B C, so wird man der Last

s mit einer dreimal kleineren Kraft r das Gleichgewicht zu halten im Stande sein.

Das Product aus der Kraft in ihre senkrechte Entfernungen vom Unterstützungspunkte, wird das statische Moment genannt, und hiernach läßt sich das Gesetz vom Hebel auch so aussprechen: „Am Hebel ist das Gleichgewicht vorhanden, wenn die statischen Momente gleich sind.“ Wirken auf einen Hebel mehr als zwei Kräfte, so findet das Gleichgewicht Statt, wenn die Summe der statischen Momente der Kräfte, welche den Hebel nach der einen Seite zu drehen streben, gleich ist der Summe der statischen Momente der Kräfte, welche den Hebel nach der andern Seite zu drehen streben.

Der hier besprochene mathematische Hebel hat für die wirklichen oder physischen Hebel nur dann volle Gültigkeit, wenn derselbe in seinem Schwerpunkte unterstützt ist.

Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so hat man das Gewicht des Hebels als eine im Schwerpunkte wirkende Kraft anzusehen und das statische Moment derselben mit in Rechnung zu bringen.

Der Hebel wird nicht allein in den verschiedenartigsten Verbindungen in Maschinen, sondern auch im gewöhnlichen Leben in seiner einfachsten Form vielfach angewendet; die Scheere, die Zange, der Hebebaum, die Heckfelschneide u. s. w. sind erwähnungswerthe Beispiele; die wichtigste Anwendung ist aber der doppelarmige Hebel, nämlich die Wage.

Die Wage. Die gewöhnliche Wage besteht aus einem gleicharmigen Hebel, dem Wagebalken, der sich auf einem scharfkantigen Zapfen wiegt, und an dessen beiden Enden Schalen zur Aufnahme des zu wägenden Körpers und des Gewichts angehängt sind; außerdem ist die sogenannte Zunge angebracht, welche die Größe der Abweichung, den Ausschlag des Wagebalkens von der horizontalen oder wagerechten Stellung anzeigt.

Der Grad der Genauigkeit und Brauchbarkeit einer Wage hängt von gewissen Bedingungen ab, welche sich im Wesentlichen auf die Richtigkeit und Empfindlichkeit beschränken.

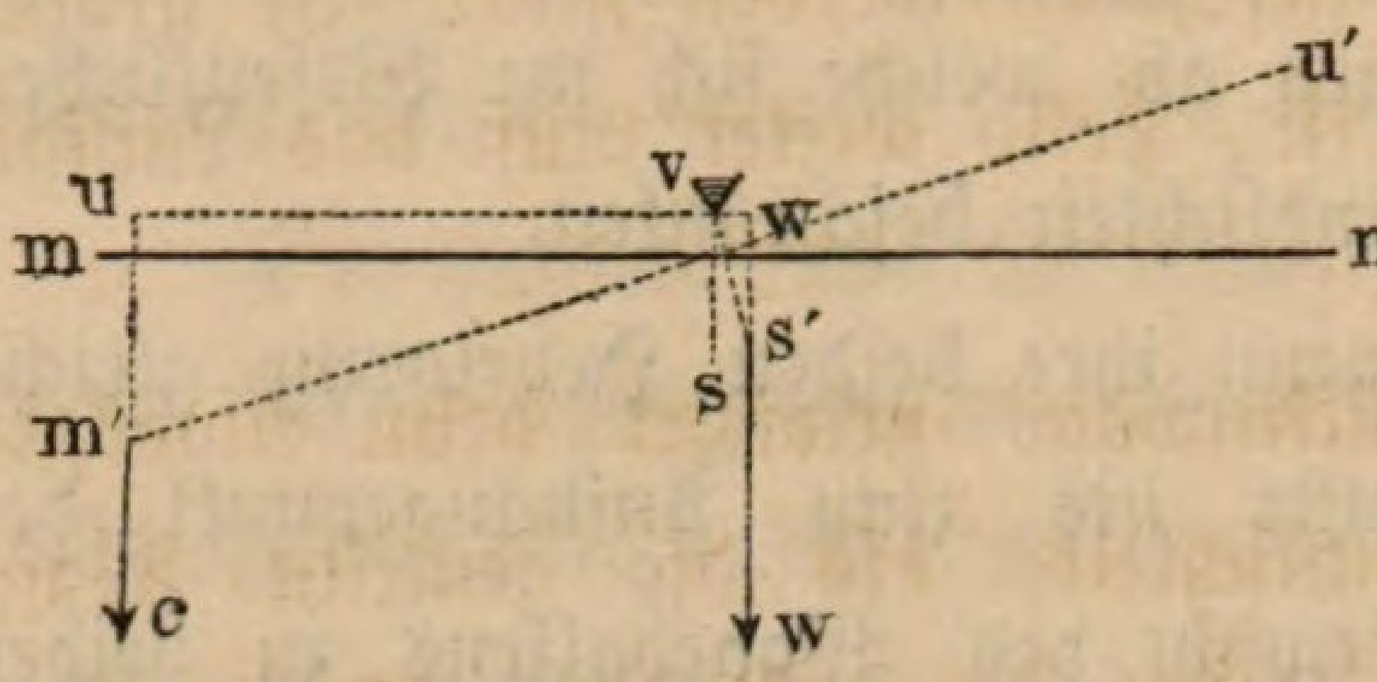
Eine Wage ist richtig, wenn ihre beiden Hebelarme gleiche Länge vom Unterstützungspunkte bis zum Aufhängepunkt der Schalen haben, wenn das Gewicht des Wagebalkens zu beiden Seiten des Drehungspunktes gleich und ebenmäßig vertheilt ist, und wenn die Schalen gleich schwer sind. Man überzeugt sich von der Richtigkeit einer Wage, erstens, wenn dieselbe ohne alle Belastung im Gleichgewicht steht; zweitens, wenn eine willkürliche Last in der einen Schale, welche mit Gewichten in der andern Schale in's Gleichgewicht gebracht ist, sich mit diesem Gewicht ohne Störung des Gleichgewichts vertauschen läßt.

Die Empfindlichkeit einer Wage oder die Eigenschaft, das geringste Uebergewicht auf der einen oder andern Seite durch einen Ausschlag anzuzeigen, hängt von der Reibung am Drehungspunkte und von der Tiefe des Schwerpunkts unter dem Drehungspunkte ab. Eine Wage ist um so empfindlicher, je weniger tief dieser Schwerpunkt unter dem Drehungspunkte liegt. Eine brauchbare Wage muß der Lage des Gleichgewichts sich allmählich nähern, so wie durch Hinzufügung von Gewichten auf der einen Seite die Belastungen der beiden Wageschalen allmählich einander gleich gemacht werden. m n *(Fig. 11 A u. B)* sei z. B. ein Wagebalken, welcher im Punkte v ruht, s sei der Schwerpunkt des Ganzen, in welchem man sich die Summe der Gewichte des Balkens

Fig. 11 A.



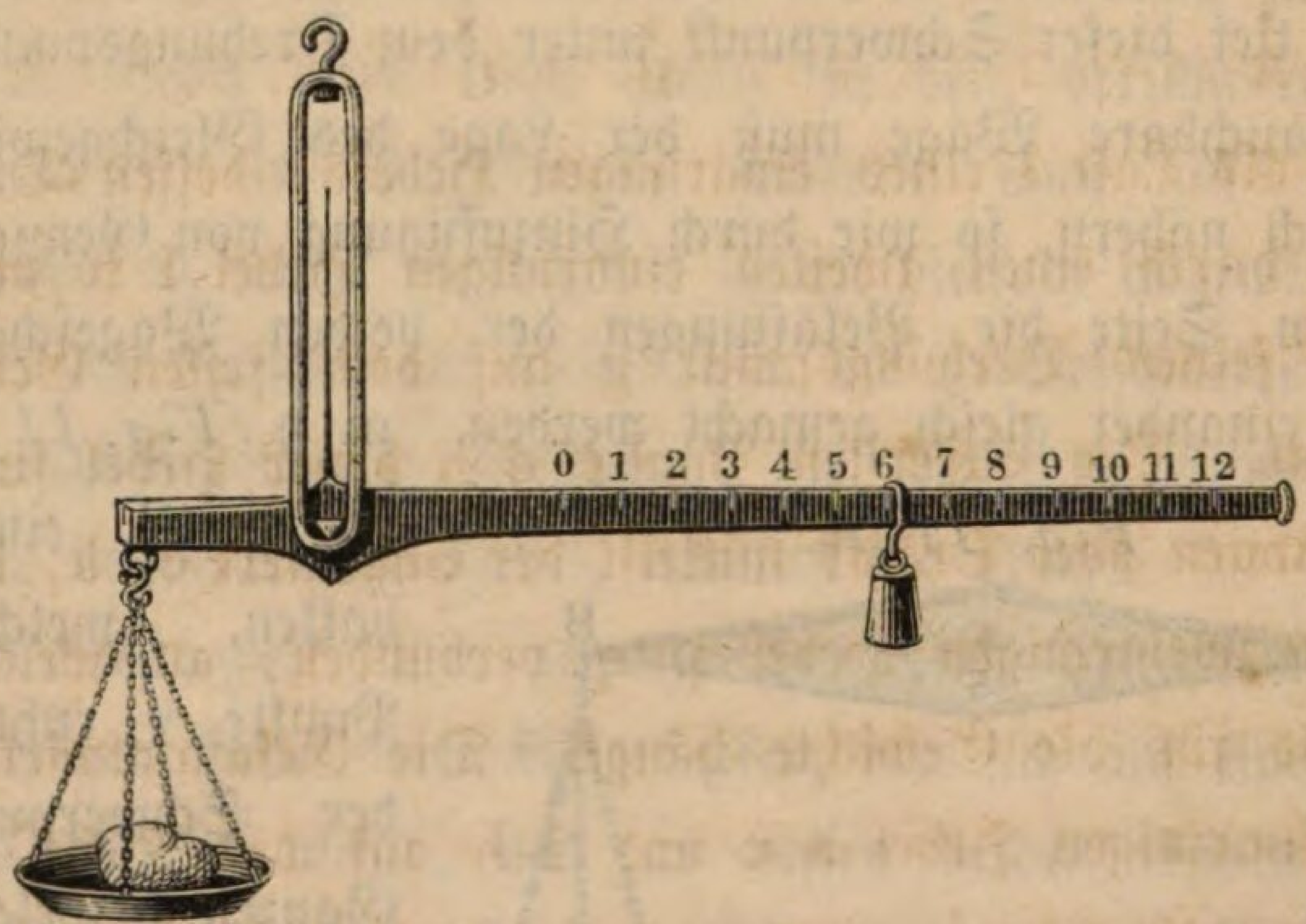
Fig. 11 B.



der Schalen und ihrer Belastung vereinigt denkt. Gesetzt durch ein neu hinzugekommenes Gewicht c, wäre der Wagebalken in die Lage m' u' gebracht, so müssen, wenn er in dieser Stellung verharrt, das Uebergewicht c am Arme u v und das im Schwerpunkt s' vereinigte Gesammtgewicht W am Arme w v sich das Gleichgewicht halten, und es muß daher c u v gleich W. w v sein. Das Uebergewicht c, welches den Ausschlag bewirkt, darf daher um so kleiner und die Wage wird zu gleicher Zeit um so empfindlicher sein, je kleiner das Moment W. w v, oder je kleiner einerseits das Gewicht W und andererseits der Arm w v ist. Es muß daher der Wagebalken fest und unbiegsam, aber leicht gebaut sein.

Die römische Wage oder Schnellwage besteht aus einem ungleicharmigen Hebel, *(Fig. 12)* an dessen kleinerem Arm die

Fig. 12.

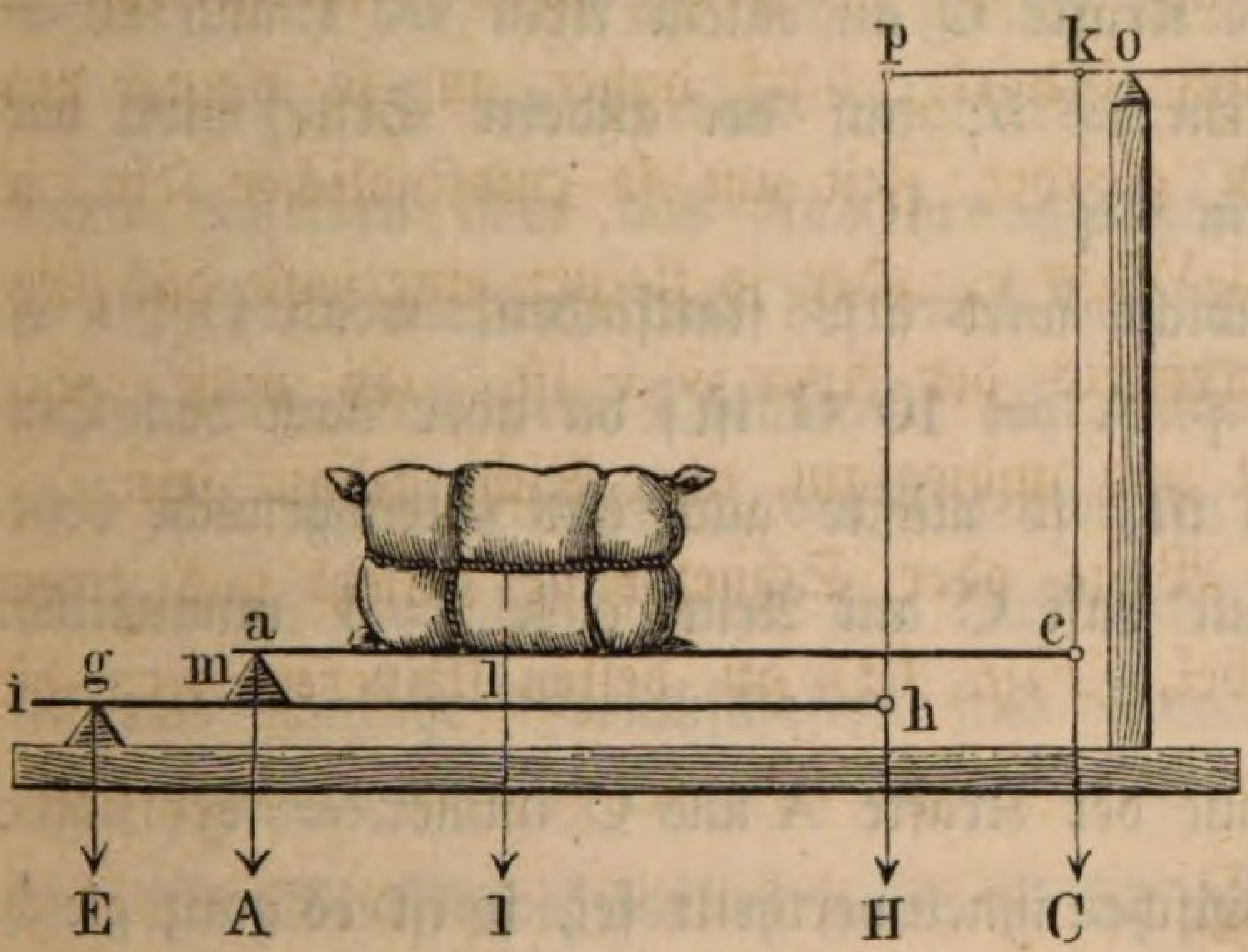


zur Aufnahme der zu wägenden Körper bestimmte Schale aufgehängt ist. Der längere Arm hält dagegen eine genaue Eintheilung und ein unveränderliches Gewicht, das sogenannte Lauf-

gewicht, welches hin und her geschoben werden kann. Je größer nun die Last in der Schale ist, desto weiter muß das Laufgewicht hinausgeschoben werden.

Die Decimal- oder Brückenwage gewährt beim Abwägen größerer Lasten mehr Bequemlichkeit, als die gemeine Wage und Schnellwage, indem die Schale oder Brücke nicht in Seilen hängt, sondern von unten unterstützt wird. Der abzuwägende Gegenstand liegt auf der Brücke a c *(Fig. 13)* und

Fig. 13.



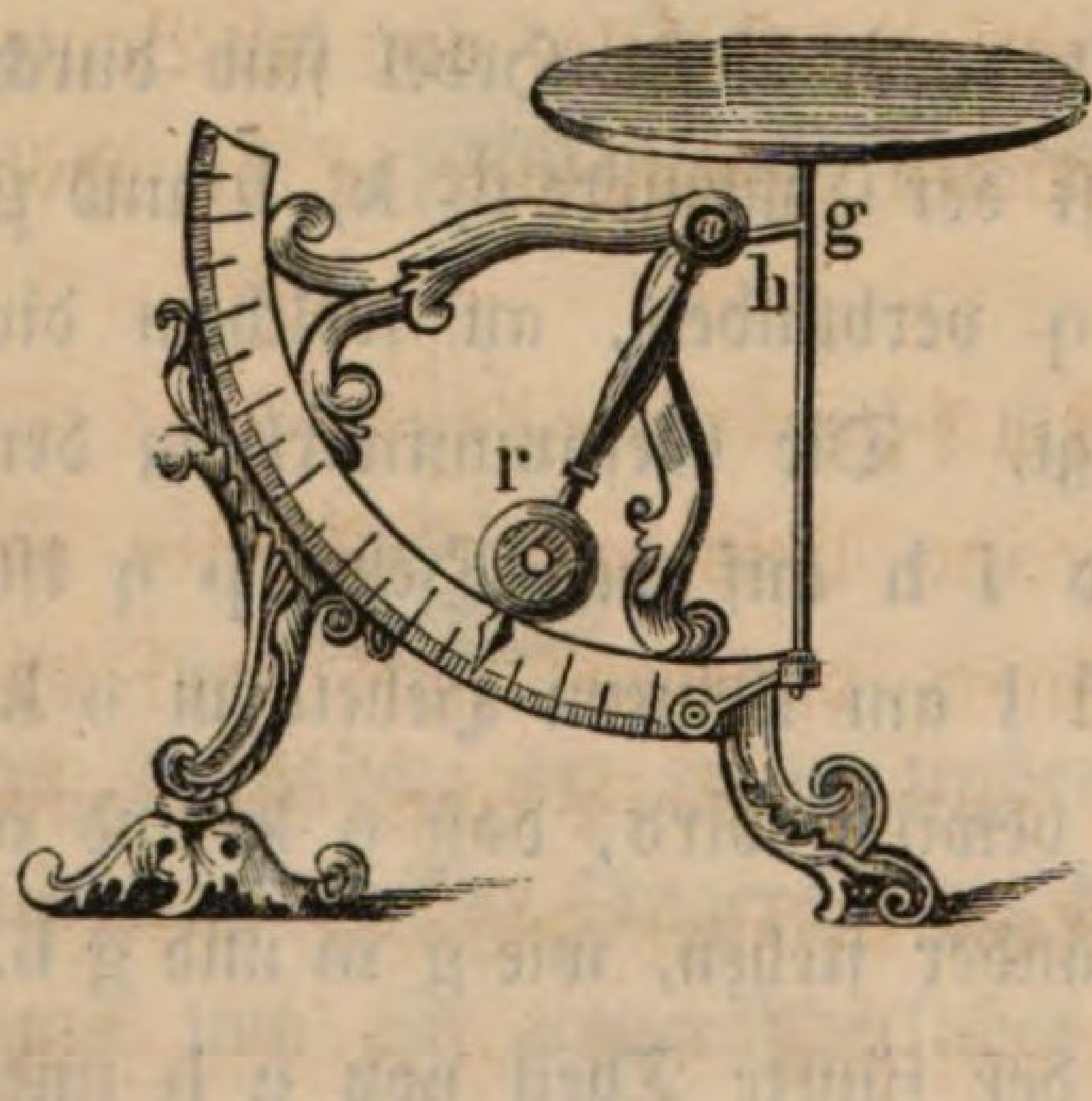
wirkt so als Last l eines einarmigen Hebels, dessen Drehungspunkt a durch einen zweiten einarmigen Hebel i h unterstützt ist, der seinen Drehungspunkt g auf dem festen Gerüst der Wage hat. Die äußersten Punkte c h dieser Hebel sind durch feste Stangen oder Drähte mittelst der Charniere c, k, h und p mit dem zweiarmigen Hebel p q verbunden, an welchem die Wagschale für die Gewichte hängt. Die Gesammtwirkung der beiden einarmigen Hebel a c und i h auf den Hebel p q ist die gleiche, als ob die ganze Last l am kleinern Hebelarm o k angreifen würde, welches dadurch bewirkt wird, daß o k und o p in demselben Verhältniß zu einander stehen, wie g m und g h. Nehmen wir nun an, g m sei der fünfte Theil von c h und

ebenso o k der fünfte Theil von o p und außerdem sei nach der gewöhnlichen Einrichtung dieser Wage o q zehnmal so groß als o k. Die Last l wird auf a und c Pressungen A und C ausüben, die zusammengenommen gleich ihr selbst sind, d. h. A + C ist = l. Die Pressung A macht sich am Hebel e h als Last geltend, und übt auf den Punkt h einen Druck H nach unten aus, der, da der Arm e h das Fünffache des Arms e m ist, den fünften Theil von A beträgt. Demnach wirken längs der Stangen c k und h p am Hebel p q, diesseits des Drehungspunktes o die Kräfte C an einem Arm = 1 und H = $\frac{1}{5}$ A an einem Arm = 5; auf der andern Seite wirkt das Gewicht G am Arm o q = 10.

Das Gleichgewicht wird also stattfinden, wenn C . 1 + $\frac{1}{5}$. A 5 oder C + A = 10 G ist; da aber nach dem Obigen C + A = l ist, so müßte auch das Gleichgewicht bestehen, wenn die volle Last C am Arme o k = 1 unmittelbar angebracht würde.

Da die Summe der Kräfte A und C immer = der Last l ist, wie auch diese zwischen ihnen vertheilt sei, so ist es ganz gleichgültig, auf welche Theile der Brücke der abzuwägende Gegenstand aufgelegt ist.

Fig. 14.



Die Zeigerwage besteht (*Fig. 14)* aus einem um den Scheitelpunkt drehbaren Winkelhebel g h r, an dessen kürzerem Arm das Gewicht der Schale und der Belastung und längerem Arm das Gewicht des Zeigers wirkt. Wird die Belastung vermehrt, so hebt

sich der Zeiger; der Abstand seines Schwerpunkts vom Drehungspunkte wird größer und damit wächst das Moment seines Gewichts.

Die Hebelkraft kommt ferner in Anwendung beim Brecheisen, Hebeleisen, beim Spaten des Gärtners, beim Gebrauch der Seile, denn alle diese Instrumente sind Anwendungen des doppelarmigen Hebels. Beim Schubkarren dagegen finden wir den einarmigen Hebel angewandt. Der Schubkarren hat nämlich seinen Drehpunkt in der Achse des Rades; die Kraft wirkt nach oben an den äußersten Enden seiner Arme; je näher der Schwerpunkt der Last der Achse gerückt wird, desto geringer ist die zum Halten des Karrens erforderliche Kraft; daher ist die Lehne desselben über das Rad her gebogen und die Last kann so aufgepackt werden, daß die durch den Schwerpunkt derselben gehende Vertikale dem Drehpunkte sehr nahe kommt.

Der Stirnhammer in den Eisenwerken, das Trittbrett am Spinnrade, die Flachsbreche, der Nußknacker, Dreschflegel, Sensen und ähnliche Geräthschaften sind Anwendungen des einarmigen Hebels.

Als Winkelhebel können z. B. die Thürklinken, Eisenscheeren, die Winkel an den Glockenzügen u. s. w. angeführt werden; aber es findet der Winkelhebel auch Anwendung, wenn wir mittelst eines geschlitzten Hammers einen Nagel herausziehen. — Schon die Alten benutzten die Kraft des Hebels, um bei Bauten wie z. B. der ägyptischen Pyramiden, Steinblöcke in die Höhe zu bringen.

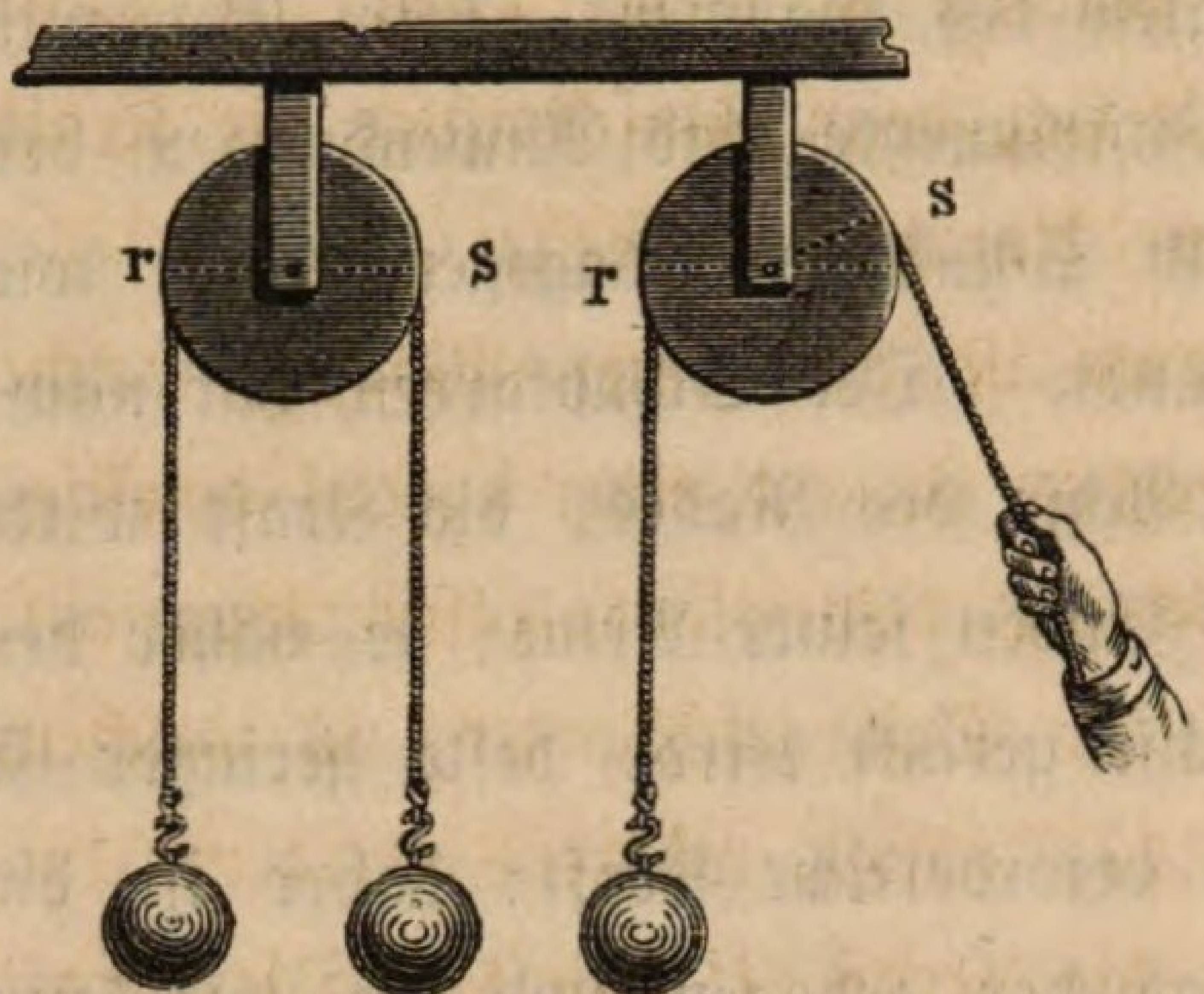
Die Rolle.

Eine Rolle ist bekanntlich eine kreisförmige Scheibe von Holz oder Metall mit einer Rinne versehen, und zwar entweder frei beweglich oder fest; nur muß sie um eine durch ihren Mittelpunkt gehende feste Achse drehbar sein.

Sind an der festen Rolle Kraft und Last im Gleichgewicht,

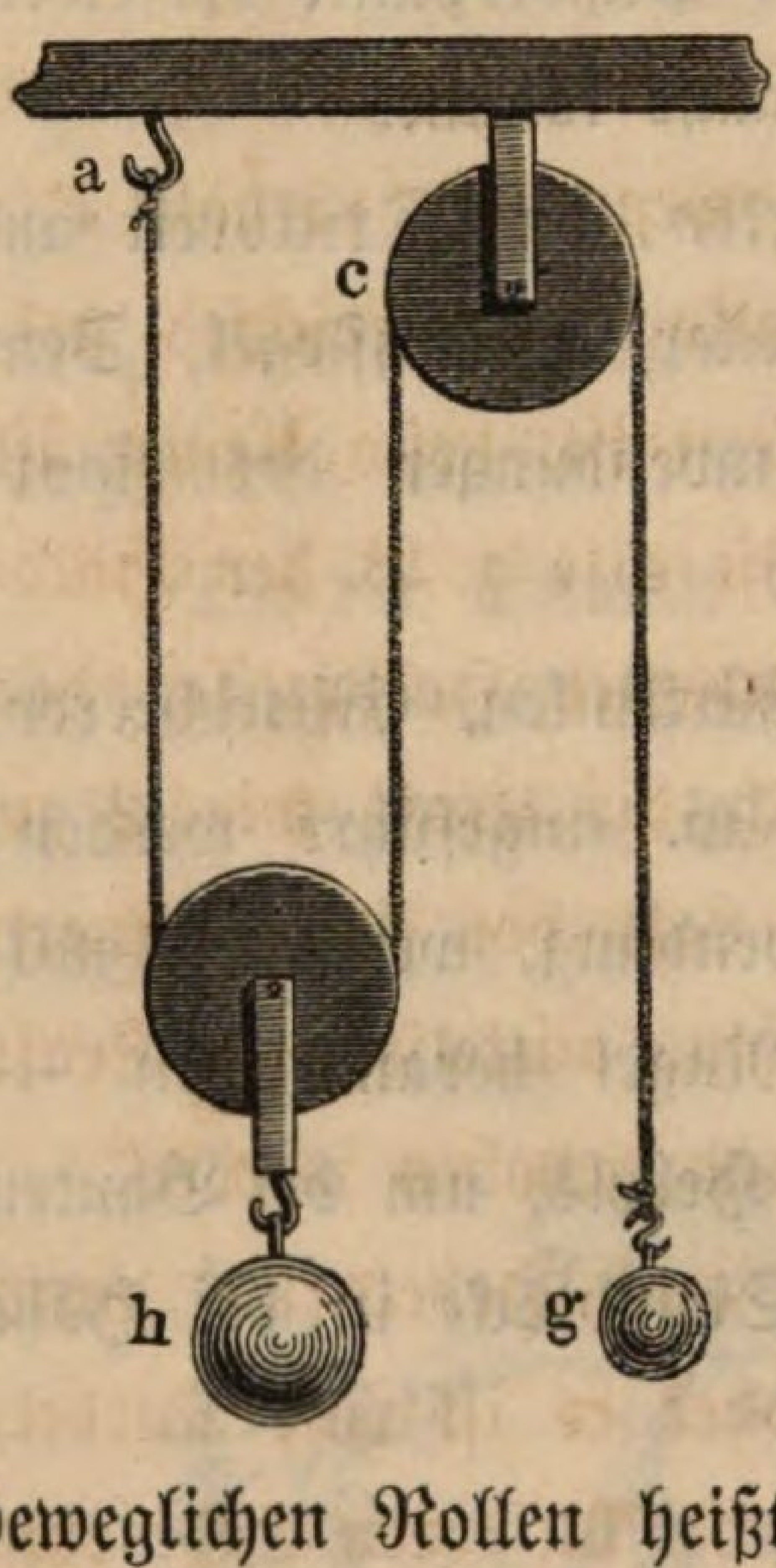
so kann man ohne das Gleichgewicht zu stören, das über dieselbe geschlungene Seil an den Punkten r s *(Fig. 15 A)* wo es die Rinne verläßt, befestigen.

Fig. 15 A.



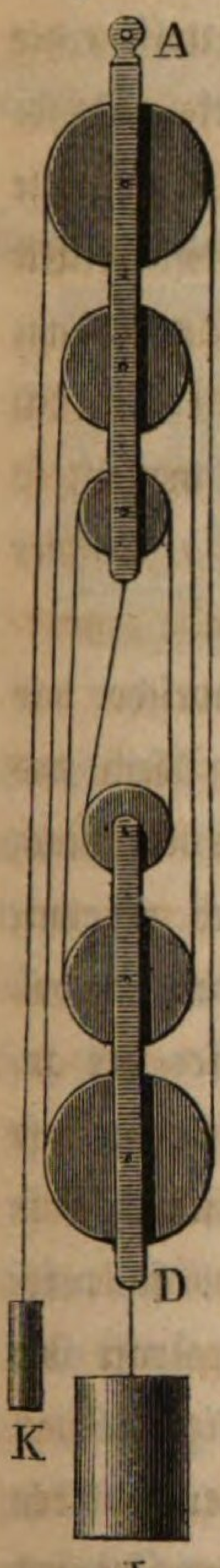
Bei der beweglichen Rolle ist die Last h am Mittelpunkte derselben angebracht, und die Kraft wirkt am Umfange derselben vermittelst eines Seiles, *(Fig. 15 B)* dessen anderes Ende irgendwo befestigt ist; lassen wir z. B. die beiden Theile des Seils der Rolle in paralleler Richtung, so wird die ganze Last von den beiden Seilstücken getragen, von denen das eine c in a befestigt ist; und das andere über die feste Rolle c geht, und ein Gewicht trägt, das als Kraft wirkt; mithin hat der Kloben a sowohl, als auch die Kraft g nur die Hälfte der Last h zu tragen; zieht man also das Gewicht der Rolle und des Seils nicht in Betracht, so verhält sich die Kraft zur Last wie 1 zu 2.

Fig. 15 B.



Eine Verbindung mehrer festen und beweglichen Rollen heißt ein Rollwerk oder Flaschenzug. Die Rollen befinden sich bei dieser Einrichtung in zwei Kloben oder Hülsen, einer festen A und einer beweglichen D, an welcher die Last L angebracht ist. Wird nun die Last *(Fig. 16)* z. B. von sechs Seilstücken getragen, so daß auf jedes $1/_6$ der Last kommt, so wird das Seil in allen seinen Theilen eine gleiche

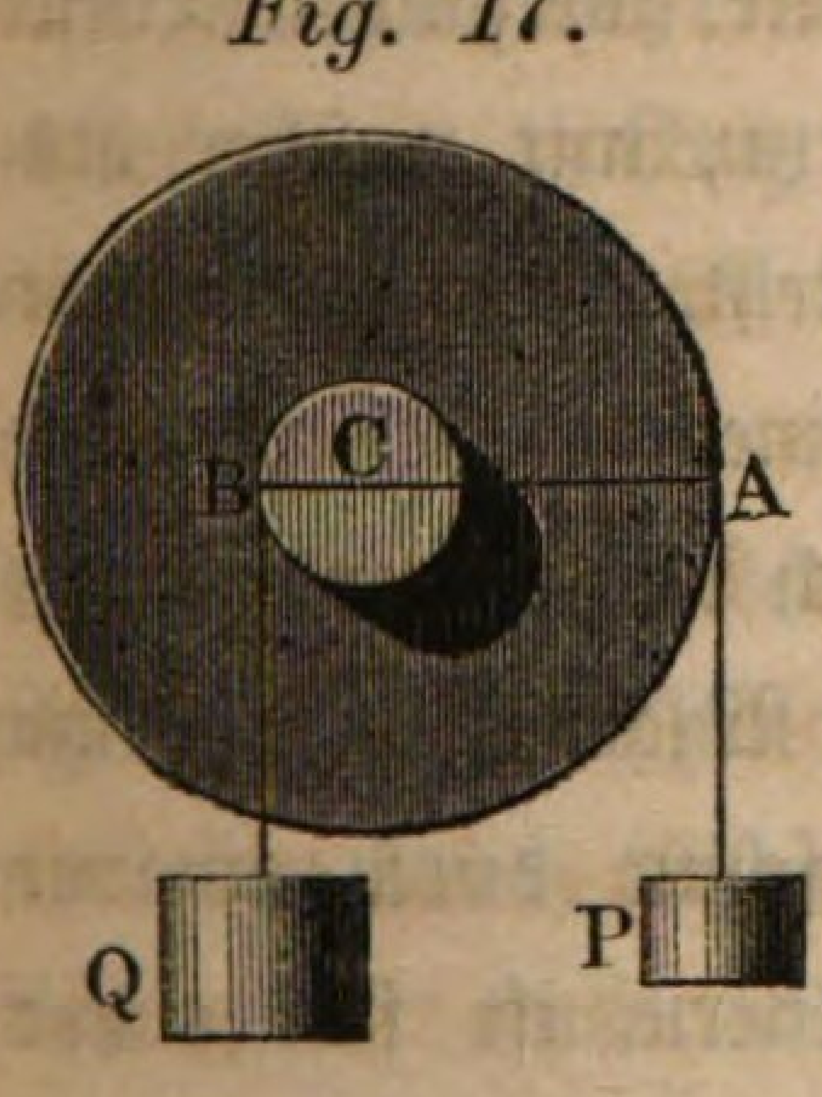
Fig. 16.



Spannung durch die Kraft K haben. — Bei einem Flaschenzuge, dessen bewegliche Flasche zwei, vier, fünf u. s. w. Rollen enthält, beträgt die Kraft den vierten, achten, zehnten u. s. w. Theil der Last. Ueberhaupt verhält sich beim Flaschenzuge die Kraft zur Last wie 1 zur Anzahl der Seile.

Das Wellrad ist aus einer Walze, welche um ihre Achse drehbar ist, mit einer darauf befestigten kreisrunden Scheibe, dem Rade, zusammengesetzt. Um die Walze ist ein Seil geschlungen, an welchem die Last Q *(Fig. 17)* hängt, während an dem Umkreis des Rades die Kraft P wirkt. Die Kraft verhält sich zur Last, wie der Halbmesser der Welle oder Walze zum Halbmesser des Rades; d. h. das Gleichgewicht ist vorhanden, wenn sich verhält P : Q = B C : A C; je größer also der Unterschied zwischen diesen beiden Halbmessern ist, desto kleiner ist verhältnißmäßig die Kraft. Ist also z. B. der Halbmesser der Welle 2 Zoll und der Halbmesser des Rades 3 Fuß, so verhält sich die Kraft wie 2 zu 30 oder wie 1 zu 15; eine Last von 12 Centnern kann mithin durch eine Maschine mittelst einer Kraft von 1200 d. h. 15 = 80 Pfund gehoben werden.

Fig. 17.

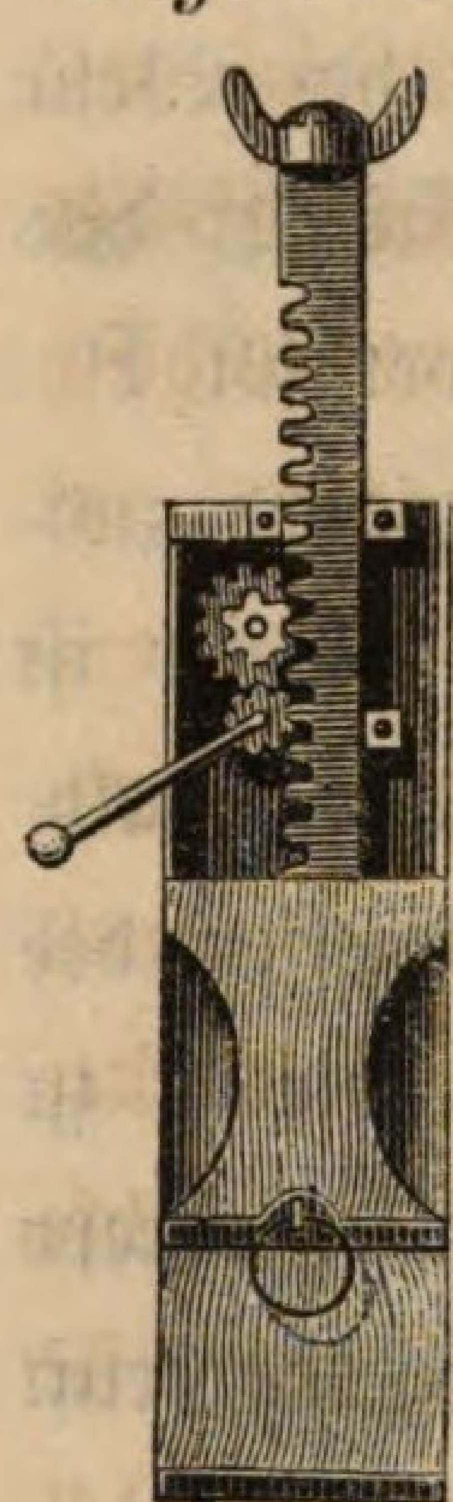


Mitunter sind auch Hebelarme durch die Welle gesteckt, oder es ist eine Kurbel, ähnlich einer Radspeiche, an deren Ende eine Handhabe befestigt ist, angebracht. Andere Einrichtungen und Anwendungen sind der Pferdegöpel mit senkrechter Welle, das Lauf- oder Tretrad, der Haspel, die Wasser-, Schwung- und Wagenräder.

Die gewöhnliche Wagenwinde besteht z. B. aus einer gezahnten Stange, welche in einem hölzernen Gehäuse mittelst eines darin befindlichen Getriebes auf und nieder bewegt wird. Dieses Getriebe sitzt auf einer Welle, bei welcher das Rad durch eine außerhalb des Gehäuses angebrachte Kurbel ersetzt ist. Die Wirkung der Winde hängt mithin von dem Verhältniß der Länge des Kurbelarms zu dem Halbmesser des Getriebes ab. Ist z. B. der Kurbelarm 6 mal so lang, als dieser Halbmesser, so wird eine Last von 6 Centnern mit einer Kraft von 1 Centner gehoben.

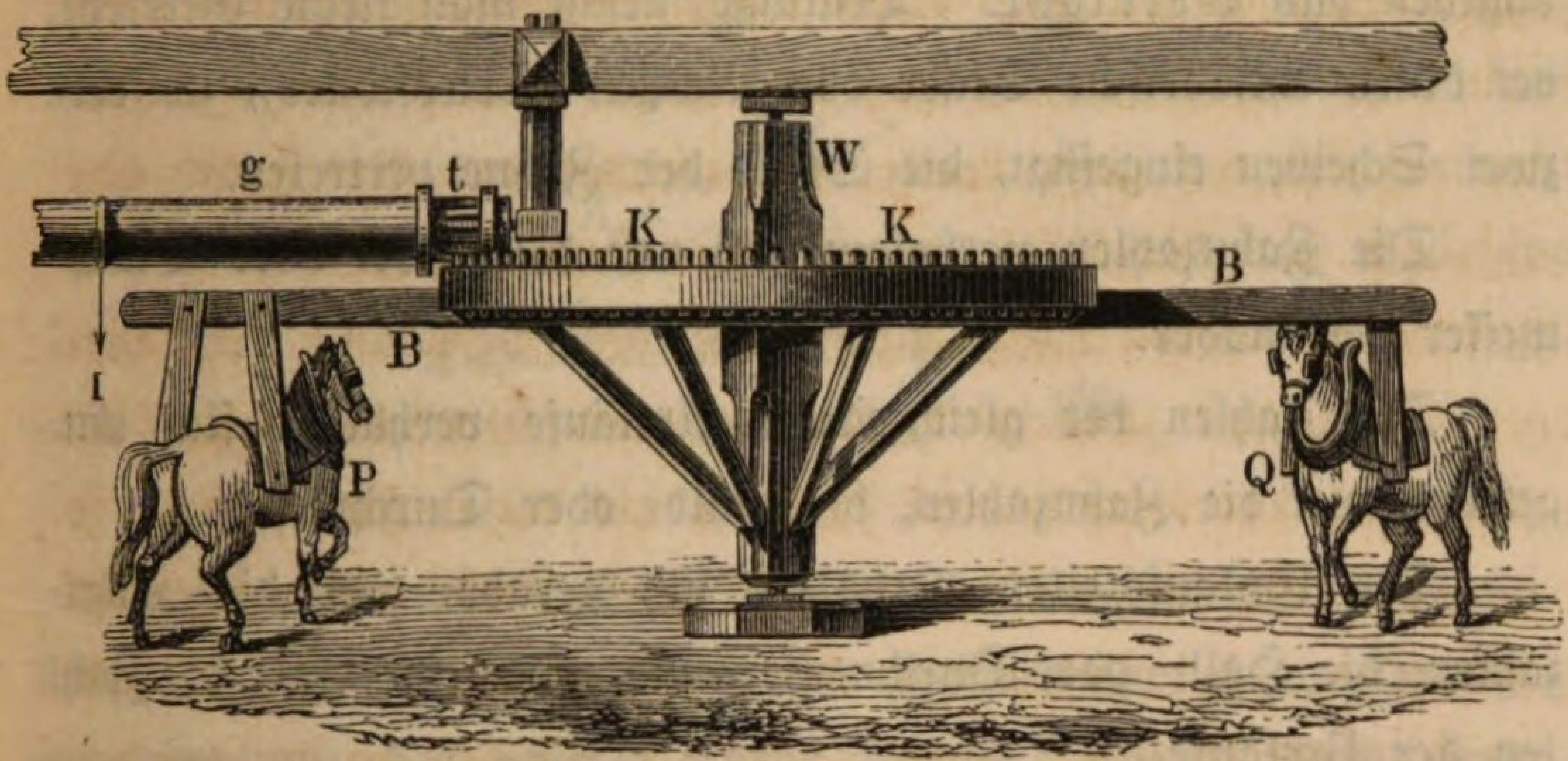
Wirksamer ist die zusammengesetzte Winde, bei welcher das an der Kurbel befindliche Getrieb in ein Rad und erst dann in ein zweites Getrieb, das, mit dem Rade auf derselben Welle sitzend, in die gezahnte Stange eingreift, geht. Angenommen, der Kurbelarm sei 6 mal so groß, als der Halbmesser des zugehörigen Getriebes, und das Rad 3 mal so groß, als das auf der gleichen Achse befindliche in die gezahnte Stange eingreifende Getrieb, so wäre für obige Last von 6 Centnern nur eine Kraft von $600 : 18 = 33^1/_3$ Pfund nöthig. (s. *Fig. 18.*)

Fig. 18.



Der Pferdegöpel besteht aus einer senkrechten Welle W, (*Fig. 19*) die ein sogenanntes Kronrad oder Kammrad K trägt, welches eine zweite horizontale Welle g mittelst des Trillings t in Bewegung setzt, mit welcher alsdann die übrige Maschine in Verbindung steht. Es ziehen nun zwei Pferde oder auch wohl nur eins an einem Hebel, wodurch eine Kraft ausgeübt wird, deren Wirkung sich auf folgende Weise leicht erklären läßt; ersetzt man z. B. den Widerstand der mit der Welle g in Verbindung stehenden Maschine durch eine an dieser Welle hängende Last l von 10 Centnern, ist ferner das

Fig. 19.



Verhältniß des Halbmessers der Welle zu dem des Trillings, wie 4 zu 5, und verhält sich der Halbmesser des Trillings wie 1 zu 10, so ist, da 8 × 5 = 10 × 4 der am Eingriff der beiden Räder auftretende Widerstand = 8 Centner und folglich das v o n den Pferden zu überwindende Moment der ast = 8 × dem Halbmesser des Kronrades.

Zur Erläuterung des hier Gesagten mag Folgendes dienen. Eine Verbindung mehrer Wellräder nennt man im Allgemeinen Räderwerk. Greifen mehrere Hervorragungen oder Einschnitte der Räder in einander, so nennt man diese Zähne. Die Achse zweier verbundener Wellräder sind entweder parallel oder sie machen einen Winkel mit einander. Im ersten Fall wendet man Stirnräder an, deren Zähne in der Richtung der Halbmesser liegen. Um aber die Richtung der Achse um 90 Grad abzulenken, so daß sie also senkrecht zu stehen kommt, benutzt man entweder Kronräder (Kammräder), bei denen die Zähne senkrecht auf der Radscheibe stehen, oder konische Räder, welche zugleich den Vortheil haben, daß man durch sie zwei Wellbäume verbinden kann, die einen beliebigen Winkel mit einander bilden. Sitzen auf einer und derselben Welle zwei verschieden große

Räder, so heißt gewöhnlich das große das Rad, das kleinere dagegen das Getriebe. Trillinge nennt man kleine Getriebe, bei denen cylindrische Stäbe oder Boltzen (Triebstöcker), zwischen zwei Scheiben eingefügt, die Stelle der Zähne vertreten.

Die Zahnzahlen verhalten sich wie die Halb- oder Durchmesser der Räder.

Die Zahlen der gleichzeitigen Umläufe verhalten sich umgekehrt, wie die Zahnzahlen, die Halb- oder Durchmesser.

Die Umlaufszeiten verhalten sich gerade wie die Zahnzahlen, die Halb- oder Durchmesser und umgekehrt, wie die Zahlen der Umläufe.

Sollen also zwei Räder verfertigt werden, von denen das eine 12 Umläufe zu machen hat, bis das andere einen einzigen macht, so muß das letztere 12 mal so groß sein, und also auch 12 mal so viele Zähne haben, als das erstere.

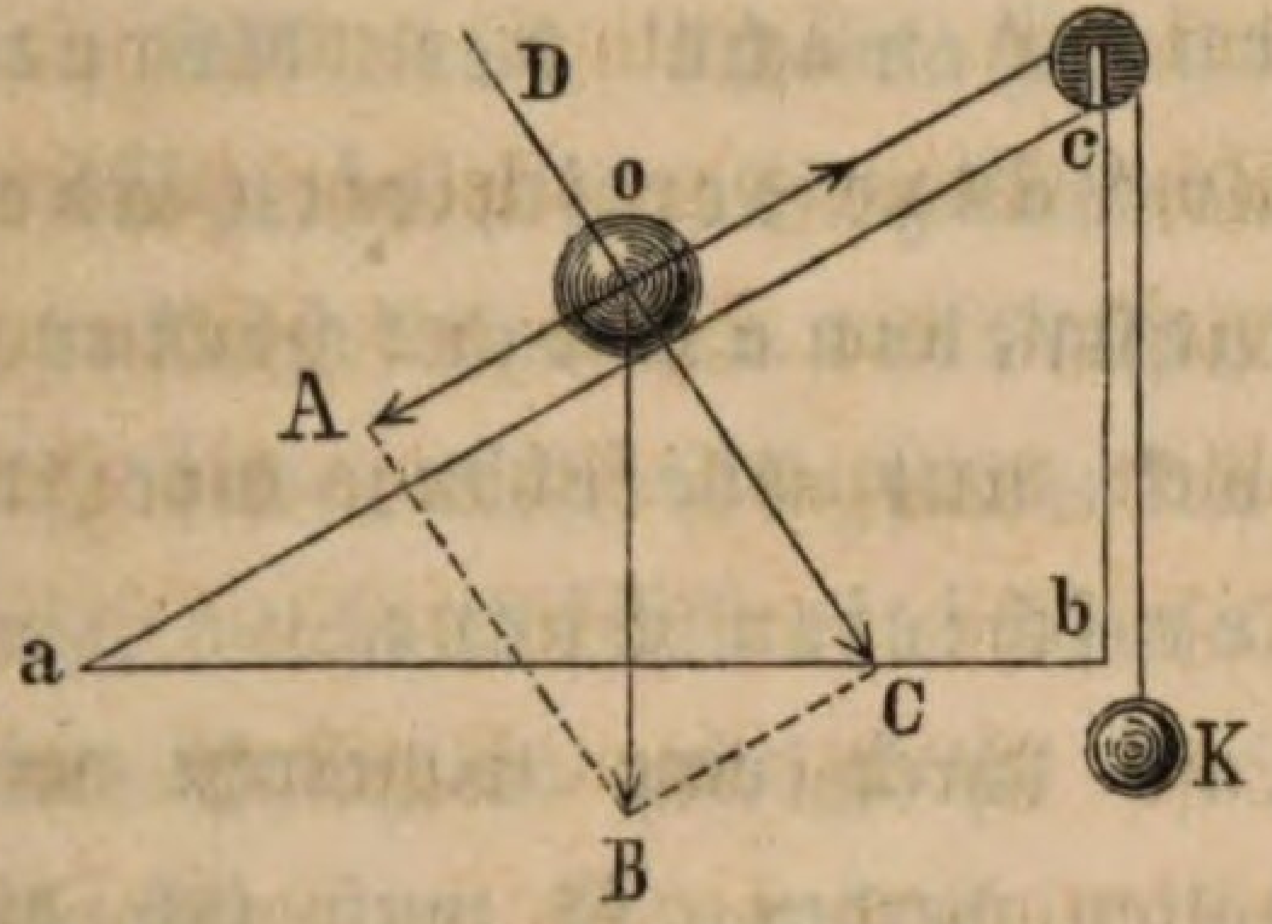
Greifen zwei Räder, von denen das eine mit der Kraft, das andere mit der Last in Verbindung steht, in einander, so entsteht zwischen den im Eingriff stehenden Zähnen ein wechselseitiger Druck; ist dieser auf beiden Seiten gleich groß, so befinden sich die Räder in Ruhe; im andern Falle schiebt das eine Rad das andere durch überwiegenden Druck voran, und beide bewegen sich im entgegengesetzten Sinn, d. h. das eine dreht sich von Rechts nach Links, das andere von Links nach Rechts.

Schiefe Ebene.

Eine jede Ebene, welche mit dem Horizont einen Winkel macht, heißt eine schiefe Ebene.

Die nachstehende *(Fig. 20)* zeigt eine solche schiefe Ebene; die Linie a b bildet den Horizont und heißt die Grundlinie oder die Basis der schiefen Ebene; b c ist ihre Höhe und a c ihre Länge.

Fig. 20.



Legt man nun auf die schiefe Ebene a c einen schweren Körper, mit Hülfe durch eine im Schwerpunkt d angebrachte und eine mit der schiefen Ebene parallele Kraft, welche jener das Gleichgewicht hält, so wird dieser Körper sich in Ruhe befinden; wird diese Kraft aber aufgehoben, so wird der Körper hinabrollen und zugleich einen gewissen Druck auf die Ebene ausüben und zwar wirkt hier die Schwerkraft, welche den Körper längs der schiefen Ebene hinabzieht, vermöge welcher er senkrecht fallen würde, sobald das Hinderniß entfernt wäre. Um daher die Größe jener beiden Kräfte zu finden, zerlege man das Gewicht B des Körpers in zwei Seitenkräfte A und C, von denen die eine parallel mit der schiefen Ebene, die andere senkrecht darauf wirkt. Eine einfache Betrachtung lehrt, daß die drei Kräfte o l, o c, o A ganz genau dasselbe Verhältniß zueinander haben, wie die Linien a c, a b und b c des Dreiecks a c b. Nennt man nun l das senkrechte Fallbestreben oder das absolute Gewicht, die Kraft A das Fallbestreben auf der schiefen Ebene oder das relative Gewicht und die Kraft C den Druck auf die schiefe Ebene, so lassen sich folgende Gesetze aufstellen: Das Fallbestreben auf der schiefen Ebene verhält sich zum senkrechten Fallbestreben oder das relative Gewicht zum absoluten wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge.

Der Druck auf die schiefe Ebene verhält sich zum absoluten Gewicht des Körpers, wie die Grundlinie zur Länge der schiefen Ebene.

Das Fallbestreben auf der schiefen Ebene verhält sich zum Druck auf dieselbe, wie die Höhe zur Grundlinie der schiefen Ebene.

Soll die Last durch eine wagerecht wirkende Kraft im Gleichgewicht erhalten werden, so muß sich die Kraft zur Last verhalten, wie die Höhe B C zur Basis A C.

Die schiefe Ebene erleidet im gewöhnlichen Leben unzählige Anwendungen, z. B. beim Auf- und Abladen größerer Waarenballen oder Fässer mittelst Schrotleitern, besonders aber bei der Anlegung von Straßen und Eisenbahnen. Um hohe Punkte allmählig zu erreichen und mit mäßigem Kraftaufwand zu überwinden, macht man die Anlage der Wege so, daß nur eine geringe Steigung vorhanden ist, d. h. man verringert das Verhältniß der Höhe zur Basis; ist z. B. die Höhe 1 Fuß und die Basis 100 Fuß, so sagt man die Straße habe eine Steigung von $^1/_{100}$ oder von 1 zu 100.

Das Gelenk oder der Kniehebel ist als eine Verbindung der schiefen Ebene und des Hebels zu betrachten; das Bett eines Flusses ist ebenfalls eine schiefe Ebene, auf welcher das Wasser bis zur Mündung des Flusses hinabrieselt.

Die Schraube. An einer jeden Schraube unterscheidet man die Schraubenspindel und Schraubenmutter. Die erstere ist ein massiver Cylinder, um welchen die Schraubenwindungen als Erhabenheiten in Gestalt einer krummen Linie, der Schraubenlinie, herumlaufen. Die Schraubenmutter ist ein hohler Cylinder, in welchem die Schraubengänge an der inneren Seite als Vertiefungen so eingeschnitten sind, daß die erhabenen Gänge genau in dieselben einpassen. Deutlicher wird uns dieses werden, wenn wir uns den Mantel eines geraden Cylinders in

einer Ebene als ein Rechteck aufgerollt, dasselbe durch Parallele mit der Grundlinie in kleinere Rechtecke zerschnitten, welche alle eine gleiche Höhe haben, und in diesen Rechtecken parallele Diagonalen gezogen, denken. Wird nun das Rechteck wieder um den Cylinder gerollt, so bilden diese Diagonalen eine zusammenhängende krumme Linie, welche überall unter demselben Winkel gegen die Grundfläche des Cylinders geneigt ist.

Bei der Umdrehung der Schraubenspindel oder der Schraubenmutter werden die Erhabenheiten der einen, längs den Vertiefungen der andern fortgeschoben und wenn z. B. die Schraubenspindel durch eine an ihrem Umfange wagerecht wirkende Kraft umgedreht wird, unter Fortbewegung derselben einem in der Richtung ihrer Achsen ausgeübten Druck entgegenwirkt, so wird dasselbe Verhältniß zwischen Kraft und Last stattfinden, wie, wenn eine Last auf einer schiefen Ebene durch eine wagerechte Kraft emporgezogen werden soll.

Es ist früher gesagt worden, daß sich in diesem Falle Kraft und Last wie Höhe und Basis der schiefen Ebene verhalten; nimmt man nun an, daß der Schraubengang eine schiefe Ebene sei, so ist der Abstand zweier Schraubengänge von einander gleich der Höhe, und der Umfang der Schraube gleich der Basis der schiefen Ebene. Es verhält sich daher bei der Schraube die Kraft zur Last, wie der Abstand zweier Schraubengänge zum Umfange der Schraube. Man gewinnt folglich bei einer Schraube um so mehr an Kraft, je näher die Schraubengänge neben einander herlaufen.

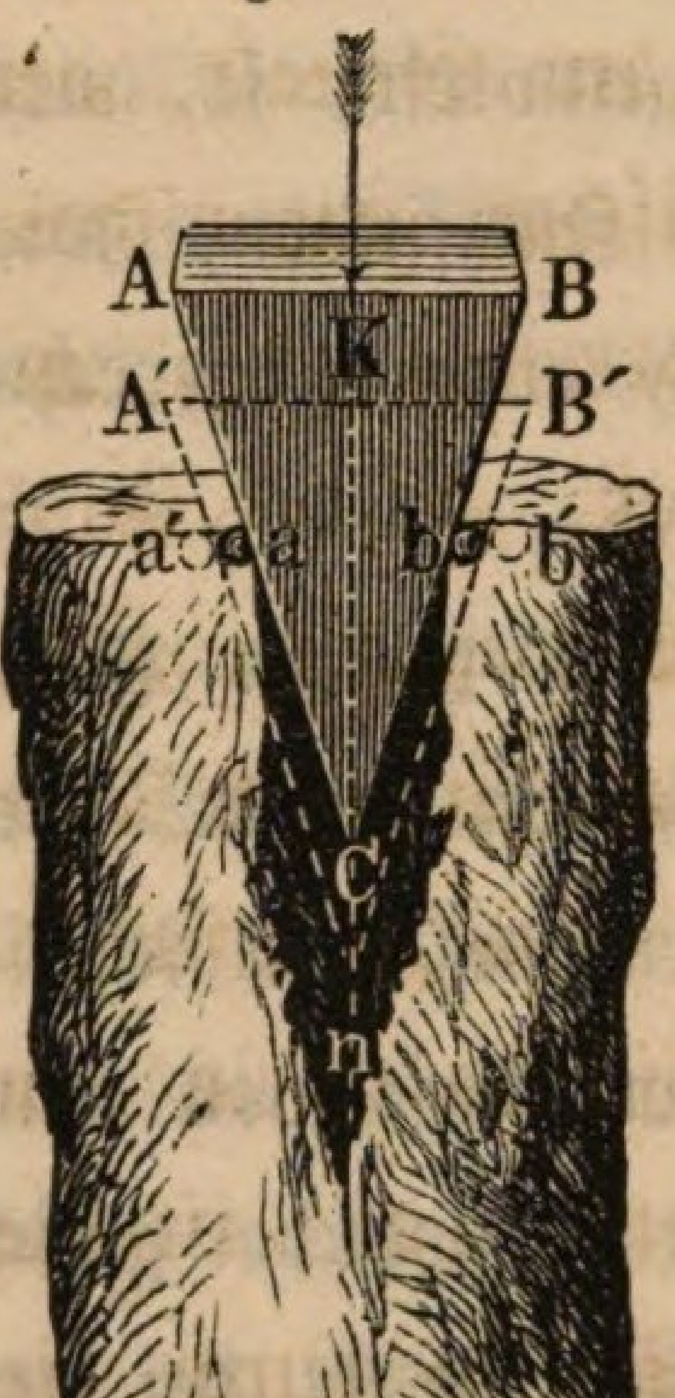
Meistens wird nun nicht, wie es bisher angenommen worden, die Schraube durch eine an ihrem Umfange wirkende Kraft in Bewegung gesetzt, sondern gewöhnlich wirkt diese Kraft an dem Ende eines Hebelarms; man gewinnt dann noch so viel

mal an Kraft, als der Halbmesser des Schraubencylinders in der Länge des Hebelarms enthalten ist.

Der Keil. Der Keil ist als ein dreiseitiges Prisma zu betrachten und seine Wirkung besteht darin, daß er zwei Körper auseinander treibt, indem er sich in Folge von der auf ihn wirkenden Kraft immer tiefer zwischen dieselben hineindrängt. Der Widerstand, den die Körper ihrer Trennung entgegenstellen, bildet die Last.

In *Fig. 21* sei z. B. A B C ein Keil, der aus den beiden rechtwinkligen Dreiecken A K C und B K C zusammengesetzt, betrachtet werden kann. Die Linie A B heißt der Rücken des Keils und

Fig. 21.



k w seine Höhe. Je nach der Form des Dreiecks heißt der Keil gleichseitig, gleichschenklig, ungleichseitig u. s. w; der hier abgebildete ist gleichschenklig. Betrachten wir nun das Eindringen des Keils in A′ C′ B′, so nehmen irgend zwei Theilchen a und b des zu trennenden Körpers, die Lagen a′ und b′ an; sie sind von einander tenfernt worden, indem sie auf den schiefen Ebenen fortrücken; dieselbe Bewegung haben aber auch alle übrigen Theile des Körpers gemacht; mithin haben wir beim Keil zwei schiefe Ebenen, bei denen der Widerstand des Körpers die Last bildet und wo die Kraft in der Richtung der Grundlinien derselben wirkt. Es verhält sich demnach für jede Hälfte des Keils Kraft zur Last, wie der halbe Rücken zur Höhe des Keils, oder für die Gesammtwirkung: Kraft zur Last, wie der Rücken des Keils zu seiner Höhe. Dieses Gesetz kann jedoch nicht als völlig geltend betrachtet werden, da in der Regel der große von der Reibung

an den Seiten des Keils herrührende Widerstand einen bedeutenden Theil der Kraft für sich allein in Anspruch nimmt.

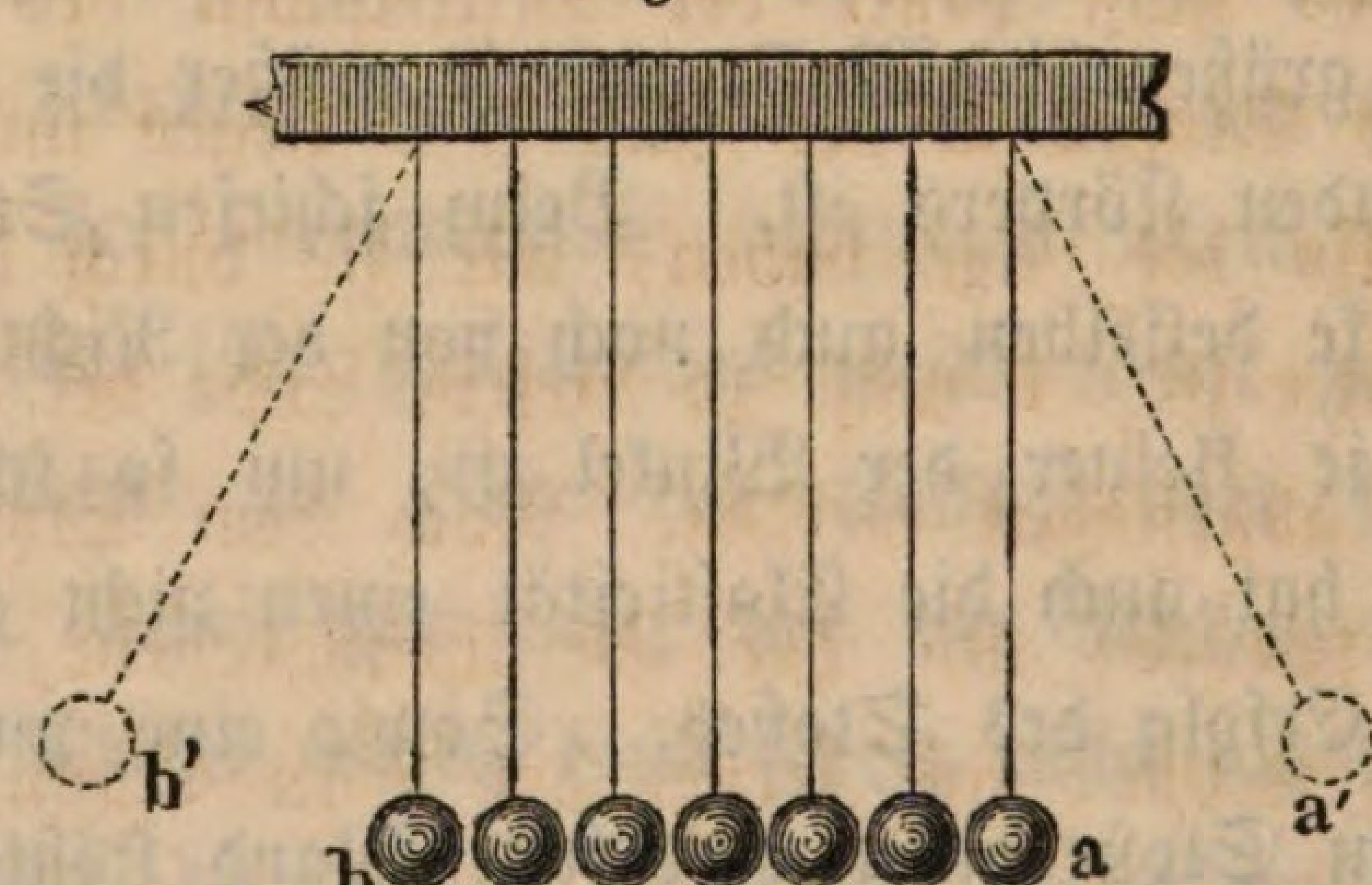
Der Keil dient als Messer, Scheere, Meißel, Beil, Nagel u. s. w., zum Zerschneiden und Durchbohren der Körper; besonders ist aber die Keilpresse, welche zum Auspressen von Flüssigkeiten aus Früchten benutzt wird, zu erwähnen.

Stoß fester Körper.

Trifft ein bewegter Körper an einen andern ruhenden oder bewegten Körper, so entsteht der Stoß, aber die Wirkung des Stoßes ist nicht allein von der Richtung, in welcher die Körper sich treffen, und von der Geschwindigkeit der Bewegung abhängig, sondern auch von der Gestalt, der Masse, der Dichtigkeit und sonstigen physikalischen Eigenschaften der sich stoßenden Körper. Hinsichtlich der Richtung unterscheidet man den geraden und schiefen Stoß. Der Stoß heißt gerade, wenn die Richtungen der Bewegung beider zusammentreffenden Kugeln mit der Verbindungslinie in ihrem Mittelpunkte zusammenfallen, schief, wenn dies nicht stattfindet. Bei einem geraden Stoß hängt die Stärke desselben allein von der Masse und Geschwindigkeit der bewegten Kugeln ab; ist die eine Kugel rund, so wird die Stärke des Stoßes durch die Größe der Bewegung, d. h. durch das Product der Masse und Geschwindigkeit der andern bestimmt. Der Stoß ist also um so stärker, je größer die Masse und je größer die Geschwindigkeit des stoßenden Körpers ist. Beim schiefen Stoß hängt jedoch die Stärke desselben auch noch von der Richtung der Bewegung ab; je kleiner der Winkel ist, um so schiefer ist der Stoß; endlich hat auch die Elasticität einen nicht geringen Einfluß auf den Erfolg des Stoßes. Sowie eine unelastische Kugel in geradem Stoße gegen eine feste Wand stößt, so ruht sie

nach dem Stoße; stößt eine unelastische Kugel gegen eine andere ruhende in einem geraden Stoße, so gehen beide nach dem Stoße mit der halben Geschwindigkeit der stoßenden Kugel fort. Stoßen zwei unelastische Kugeln in einem geraden Stoße mit entgegengesetzten Geschwindigkeiten aneinander, so gehen sie nach dem Stoße mit der halben Differenz der Geschwindigkeiten fort. Stoßen zwei unelastische Kugeln, welche sich beide nach derselben Richtung bewegen, zusammen, indem die eine die andere einholt, so gehen sie nach dem Stoße mit der halben Summe der Geschwindigkeit fort. Stößt ferner eine elastische Kugel gegen eine feste Wand in einem geraden Stoße, so springt sie mit derselben Geschwindigkeit und auf demselben Wege zurück, auf welchem sie ankam. — Die elastische Kugel wird nämlich beim Stoße zusammengedrückt, und da sie mit der nämlichen Kraft ihre Gestalt wieder herzustellen strebt, so erhält sie nach dem Stoß gerade die entgegengesetzte Bewegung, welche sie vor dem Stoße hat. Trifft eine elastische Kugel gegen eine feste Wand in einem schiefen Stoß, so springt sie mit derselben Geschwindigkeit und unter dem nämlichen Winkel auf der andern Seite zurück. Stößt eine elastische Kugel in geradem Stoße an eine andere ruhende, so bleibt sie nach dem Stoße ruhen und die vorhergehende geht mit der Geschwindigkeit der stoßenden fort. Hängt man z. B. mehrere Kugeln *(Fig. 22)* neben einander,

Fig. 22.

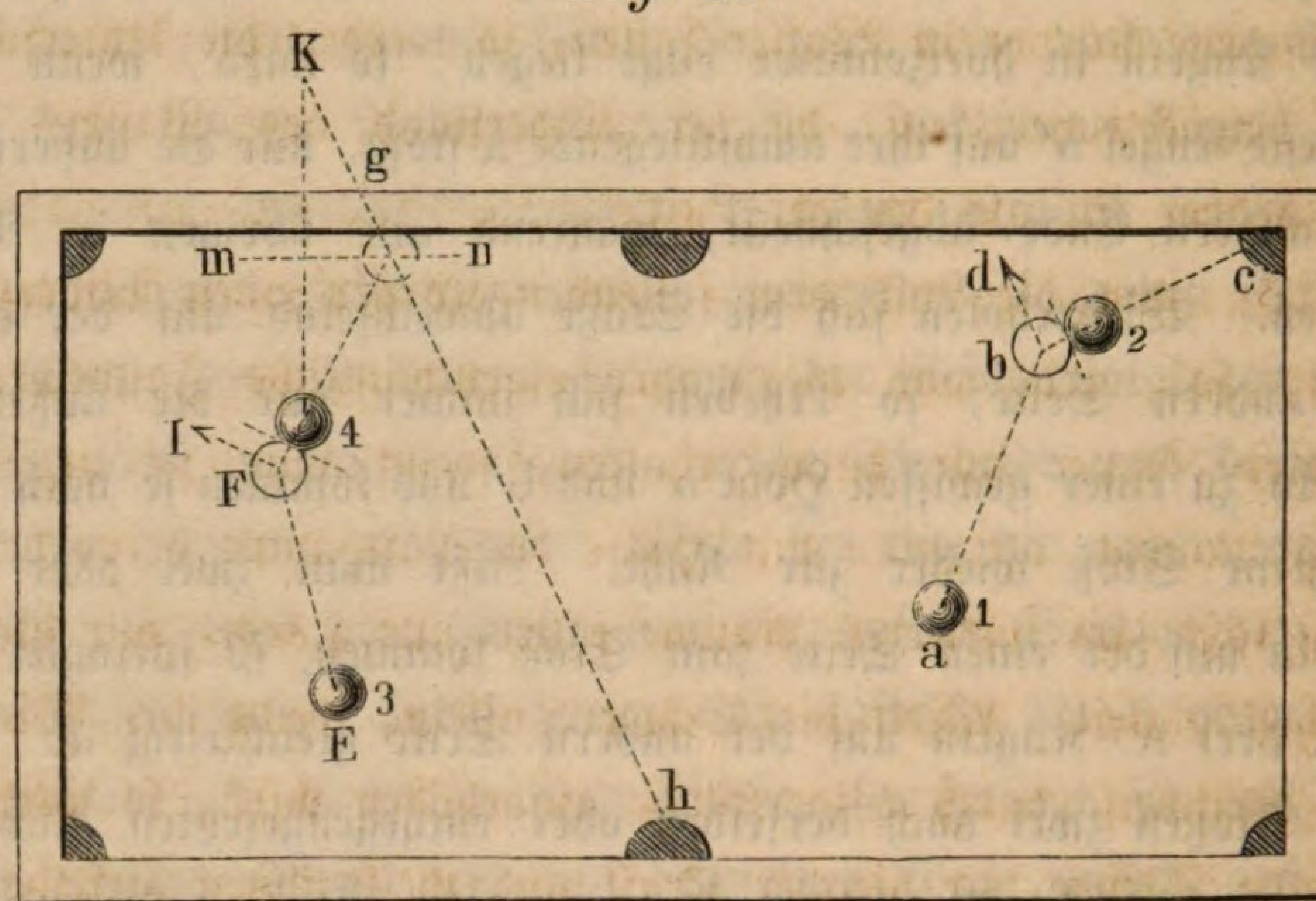


eine jede an einem Faden auf, so daß die Mittelpunkte sämmtlicher Kugeln in horizontaler Lage liegen, so wird, wenn eine äußerste Kugel a′ auf ihre nächstliegende a stößt, nur die äußerste b am andern Ende abgeschnellt, während alle übrigen in Ruhe bleiben. Wiederholen sich die Stöße abwechselnd auf der einen und andern Seite, so erheben sich immer nur die äußersten Kugeln zu einer gewissen Höhe a′ und b′ und kommen je nach vollbrachtem Stoß wieder zur Ruhe. Läßt man zwei oder drei Kugeln auf der einen Seite zum Stoß kommen, so springen auch zwei, drei ꝛc. Kugeln auf der andern Seite gleichzeitig ab.

Stoßen zwei nach derselben oder entgegengesetzten Richtung bewegte elastische Kugeln in einem geraden Stoße zusammen, so gehen beide nach dem Stoße mit verwechselten Geschwindigkeiten fort. Stößt eine elastische Kugel an eine andere ruhende in einem schiefen Stoße, so gehen sie nach dem Stoße unter rechten Winkeln auseinander, und zwar die gestoßenen in der verlängerten Richtung, welche die Berührungsstelle des Stoßes mit ihrem Mittelpunkt verbindet.

Versuche mit gleichen elastischen Kugeln lassen sich auch auf dem Billard anstellen und bekanntlich beruhet ja die ganze Kunst des Billardspielens auf der Anwendung der Stoßgesetze. Soll z. B. die Kugel 2 *(Fig. 23)* durch den Ball 1 in das Loch C gestoßen werden, so muß 2 sich in der Richtung b c bewegen, und es muß daher der Mittelpunkt des Balls 1 im Augenblick des Stoßes in der Linie b C liegen und dieser Ball selbst muß also die Lage haben, wie sie durch den punktirten Kreis angedeutet ist; 1 muß zu diesem Ende bei a und in der Richtung a b angestoßen werden. Nach dem Stoß bewegt sich der Ball 1 parallel mit der Berührungsebene, also in der Richtung b d weiter; soll ferner der Ball 4 von dem Ball 3 durch einen Bandstoß in das Loch h getrieben werden, so muß

Fig. 23.



derselbe das Band in einem solchen Punkte g treffen, von welchem aus er bei gleichem Ein- und Ausfallswinkel in der Richtung g h zurückspringt. Den Punkt g erhält man genau, wenn man den senkrechten Abstand des Balls vom Bande verdoppelt und den Endpunkt K dieses doppelten Abstandes mit h verbindet. Der Stoß muß also in der Richtung E F erfolgen, damit die auf der Berührungsebene senkrecht stehende Composante der Geschwindigkeit nach F g gerichtet ist. Der Ball 3 muß demnach in E und in der Richtung E F angestoßen werden; nach dem Stoß verfolgt er die Richtung F I parallel mit der Berührungsfläche oder senkrecht zu F g.

Vom Fall der Körper.

Läßt man von gleicher Höhe eine eiserne Kugel und ein Stückchen Papier herabfallen, so wird die Kugel in senkrechter Richtung schnell fallen, während das Papier sehr langsam fällt, und von seiner senkrechten Richtung mehr oder weniger abgelenkt wird, was lediglich seinen Grund darin hat, daß die fallenden Körper je nach der verschiedenen Schwere einen größeren

oder geringeren Widerstand durch die Luft erleiden. Läßt man verschiedene Körper in Wasser fallen, so werden die Unterschiede noch beträchtlicher sein, da der Widerstand des Wassers noch weit größer ist, als der der Luft.

Da nun die Luft dem fallenden Körper einen Widerstand bietet, so wird man die wahre eigenthümliche Fallbewegung schwerer Körper nur dann erhalten, wenn man sie in einem leeren Raume, den man mit Hülfe der Luftpumpe hervorbringt, fallen läßt; im luftleeren Raume fallen alle Körper mit gleicher Geschwindigkeit. Wirkt die Schwere allein, wenn ihre Wirkung nicht theilweise durch Widerstände aufgehoben wird, so wirkt sie auf alle Körper mit gleicher Kraft und theilt ihnen dieselbe Geschwindigkeit mit, welches auch ihr Gewicht sein mag, und aus welcher Substanz sie auch bestehen mögen. Ein Stück Gold von 100 Pfund fällt nicht schneller, als ein ganz kleines Goldblättchen.

Da die Schwere allen Körpern gleiche Geschwindigkeit mittheilt, so hat man nur zu untersuchen, welche Beziehung zwischen Raum- und Fallzeit besteht. Da nun die Schwere in jedem Augenblick des Fallens auf dieselbe Weise wirkt, so muß sich die Geschwindigkeit des fallenden Körpers in gleichen Zeiten auch gleichviel vermehren, d. h. die Bewegung muß eine gleichförmig beschleunigte sein. Die Gesetze des Fallens lassen sich daher sehr einfach auf folgende Weise zusammenfassen. Alle Körper sind gleich schwer, d. h. sie fallen im leeren Raume mit gleicher Geschwindigkeit.

Die am Ende der einzelnen Fallsecunden erlangten Geschwindigkeiten verhalten sich wie die geraden Zahlen 2, 4, 6, 8 u. s. w.

Die in den einzelnen Fallsecunden durchlaufenen Räume verhalten sich wie die ungeraden Zahlen, 1, 3, 5, 7 u. s. w.

Die in den ganzen Zeiten durchlaufenen Räume verhalten sich wie die Quadratzahlen 1, 4, 9, 16 u. s. w.

Ein Körper fällt z. B. im leerene Raum in der ersten

Secunde etwa $15\frac{1}{2}$ rheinländische Fuß, also in 2 Secunden 4 mal $15\frac{1}{2}$ gleich 62, in 3 Secunden 9 mal $15\frac{1}{2}$ gleich $139\frac{1}{2}$ ꝛc.

Die Gesetze des Fallens sind zuerst von Galiläi studirt worden, indem derselbe leicht bewegliche Körper auf einer schiefen Ebene herunterrollen ließ. Um derartige Versuche auszuführen, bedient man sich am besten einer Rinne von Holz, etwa 10 bis 12 Fuß lang, welche im Innern möglichst glatt polirt sein muß, und in Zolle eingetheilt ist. Wird diese Rinne durch eine darunter gelegte Unterlage schief gestellt, so wird eine darauf gelegte Kugel nach und nach herunter getrieben, da die Schwere derselben geringer ist, als wenn die Kugel auf einer horizontal-gestellten Rinne sich befindet, auf welcher sie vermöge der größeren Schwere in Ruhe bleiben wird. Bei jeglichem Verhältniß, in welchem eine bewegende Kraft vermindert wird, ändert sich nur die absolute Größe der Bewegung, während das Verhältniß der in bestimmten Zeiten durchlaufenen Fallräume unverändert bleibt. Das Gesetz, welches aus den Versuchen auf der geneigten Ebene sich ableiten läßt, ist demnach das wahre Gesetz der Schwere. Läßt man die Kugel in einem bestimmten Moment am obern Ende der Rinne los, merkt man sich die in einer, zwei, drei u. s. w. Secunden durchlaufenen Räume, so findet man: „die Räume verhalten sich wie die Quadrate der Zeiten, welche nöthig waren, um sie zu durchlaufen."

Das Pendel.

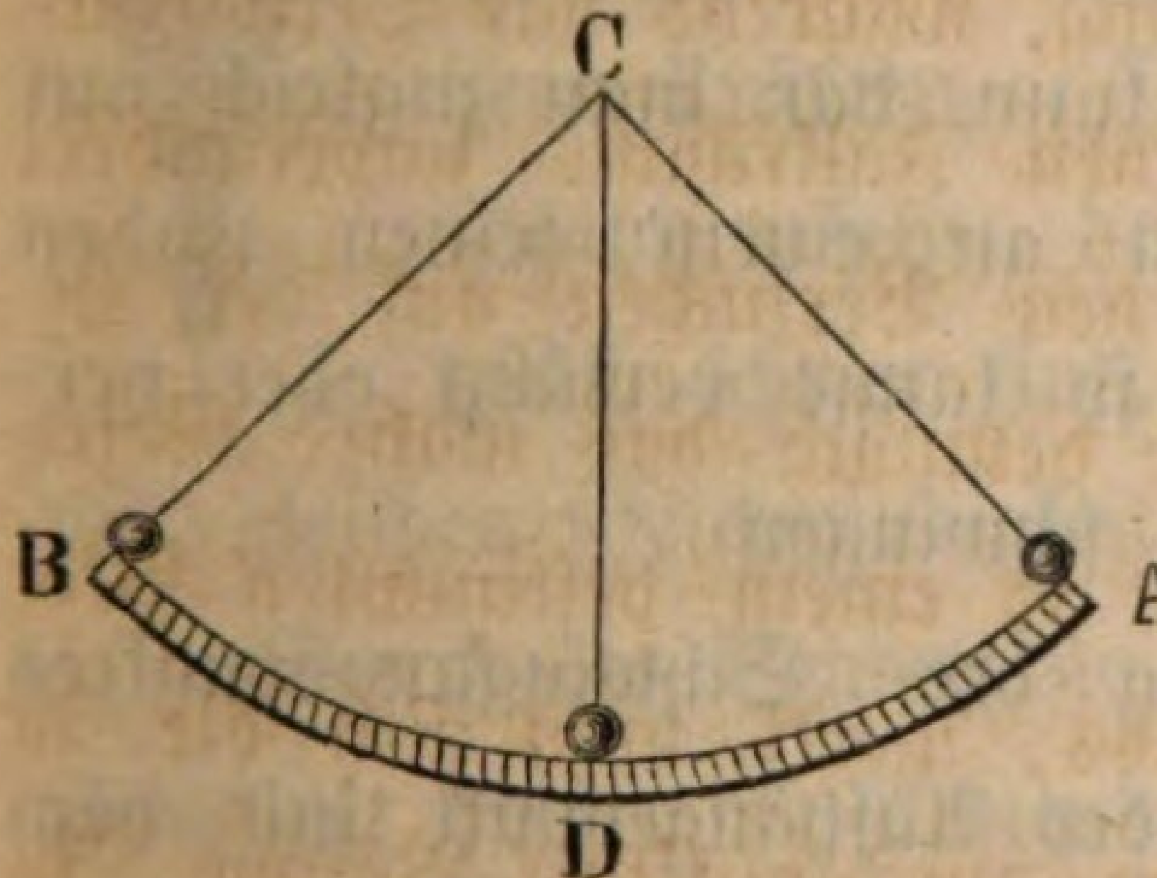
Eine ebenfalls durch die Schwere hervorgerufene Bewegung ist die schwingende Bewegung des Pendels.

Unter einem Pendel haben wir uns nämlich einen schweren Körper zu denken, welcher in irgend einem Punkte, der jedoch nicht der Schwerpunkt sein darf, so aufgehängt ist, daß er sich um diesen Punkt frei herumdrehen kann. Ein solcher Körper

kann natürlich nur dann ruhen, wenn sein Schwerpunkt lothrecht unter dem Aufhängepunkte liegt. Wird er aus dieser Lage gebracht und sich selbst überlassen, so kehrt er vermöge der Schwere nicht nur in dieselbe Lage wieder zurück, sondern überschreitet sie nach dem Trägheits-Gesetze, kehrt dann wieder zurück u. s. w., wodurch eine schwingende Bewegung entsteht.

Das gewöhnliche Pendel besteht aus einer schweren Kugel, welche am Ende eines biegsamen Fadens aufgehängt ist; wird diese Kugel aus ihrer Gleichgewichtslage, d. h. wird das Pendel aus seiner Vertikalebene gebracht, so macht es, wenn man es losläßt, ohne ihm irgend einen Anstoß zu geben, Schwingungeu, welche fortwährend in derselben Vertikalebene bleiben. Bringt man z. B. das Pendel D (s. *Fig. 24)* in die Lage C B, so beschreibt die Kugel den Bogen B D; in D kommt sie mit solcher Geschwindigkeit an, daß sie auf der andern Seite bis A steigt; vom Punkte A geht die Kugel abermals zurück, durchläuft in umgekehrter Richtung wieder den Bogen A D B und setzt auf dieselbe Weise seine Schwingungen fort. Beim Niedergang des Pendels nimmt seine Geschwindigkeit fortwährend zu, beim Aufsteigen nimmt sie ab; in dem Augenblick also, in welchem das Pendel die Gleichgewichtslage passirt, hat es seine größte Geschwindigkeit.

Fig. 24.



Die Gesetze der Pendelschwingungen sind folgende: Die Dauer kleiner Schwingungen ist von der Größe der durchlaufenen Bogen unabhängig.

Die Dauer der Schwingungen ist vom Gewicht der Kugel und von der Natur ihrer Substanz unabhängig.

Die Schwingungsdauer zweier ungleich langen Pendel ver-

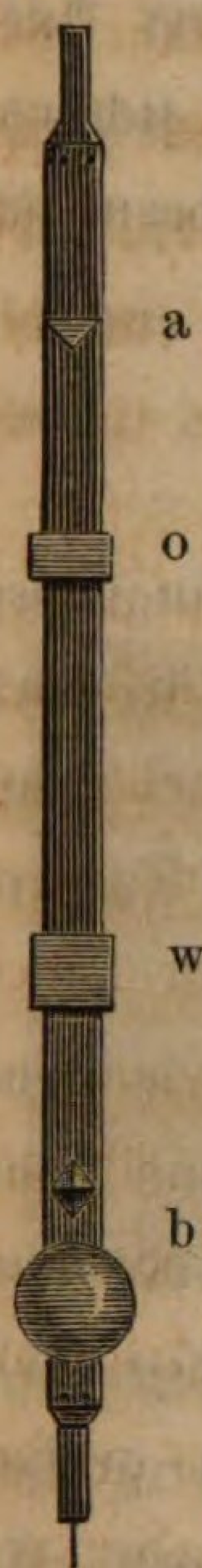
hält sich wie die Quadratwurzel aus den Pendellängen. Wenn nämlich zwei Pendel ungleiche Länge haben, so schwingt das vier-, neun-, sechszehnmal längere zwei-, drei-, viermal langsamer. Ist z. B. l die Länge eines idealen Pendels, t die Dauer einer Schwingung und g der Raum, welchen ein freifallender Körper in der ersten Secunde zurücklegt, so ist sehr nahe $t = p\sqrt{\frac{l}{2g}}$, wo p die Verhältnißzahl zwischen Umkreis und Durchmesser bezeichnet. Diese Formel gilt jedoch nur für ein einfaches ideales Pendel, welches man sich wohl vorstellen, aber nicht construiren kann, denn es müßte aus einem einfachen Faden, ohne alles Gewicht bestehen und an seinem Ende dürfte sich nur ein schwerer Punkt befinden.

Dieser Punkt ist der Schwingungspunkt. Sein Abstand vom Aufhängepunkte heißt die Länge des physischen Pendels, welche man nahezu dadurch finden kann, daß man zugleich mit demselben ein kleines Bleikügelchen an einem feinen Faden schwingen läßt, und diesen Faden so lange verkürzt oder verlängert, bis beide Pendel gleichzeitig schwingen.

Für die genaue Bestimmung des Schwingungspunktes eines physischen Pendels läßt sich der Aufhängepunkt mit dem Schwingungspunkte vertauschen. Man nimmt einen möglichst genau gearbeiteten Metallstab *(Fig. 25)*, an welchem 2 Schneiden a und b so angebracht sind, daß er in a gerade so schnell schwingt, als wenn man ihn umgekehrt und um die Schneide b schwingen läßt. Es ist dies der Fall, wenn die zweite Schneide sich genau am Schwingungspunkt b des um a schwingenden Pendels befindet.

Sind die Schneiden gleich zu Anfang in dem Stabe befestigt, so kann man es durch Verschieben der Laufgewichte o und w gleich dahin bringen, daß die eine Schneide

Fig. 25.



wirklich der Schwingungspunkt des Pendels wird, wenn es um die andern schwingt, daß also die Schwingungsdauer gleich bleibt, man mag das Pendel um die eine oder andere Schneide schwingen lassen. Die Schärfe der Schneide ruht während der Schwingungen auf Platten von Stahl oder Achat. Ein solches Pendel heißt **Reversionspendel**. Die Entfernung der beiden Schneiden eines Reversionspendels ist genau die Länge des einfachen Pendels von gleicher Schwingungsdauer.

Die Länge des Secundenpendels beträgt für unsere Gegenden ungefähr 38 preußische Zoll. Sie nimmt vom Aequator nach den Polen hin zu, denn da am Aequator die Schwere am kleinsten ist, so wird das nämliche Pendel am Aequator langsamer schwingen, als in höhern Breiten. Durch das Pendel wird man in den Stand gesetzt, den Satz zu beweisen, daß alle Körper gleich schwer sind, d. h. ohne den Widerstand der Luft mit gleicher Geschwindigkeit fallen würden.

Durch die Pendelschwingungen hat der französische Gelehrte Foucault direct die Achsendrehung der Erde bewiesen.

Da nun die Schwere an dem nämlichen Orte der Erde wegen ihrer unveränderlichen Größe Veranlassung giebt, daß die Schwingungen desselben Pendels in genau gleichen Zeiten geschehen, so eignet sich dasselbe bekanntlich sehr gut zu einem genauen Zeitmaß.

Weil die Stange eines physischen Pendels in der Wärme sich verlängert, so muß dasselbe bei einer höhern Temperatur langsamer schwingen, als bei einer niedern Temperatur. Um dieses zu vermeiden, pflegt man bei Uhren, welche sehr genau gehen sollen, die Pendelstange aus zwei Metallen von sehr verschiedener Ausdehnung durch die Wärme, z. B. Zink und Eisen,

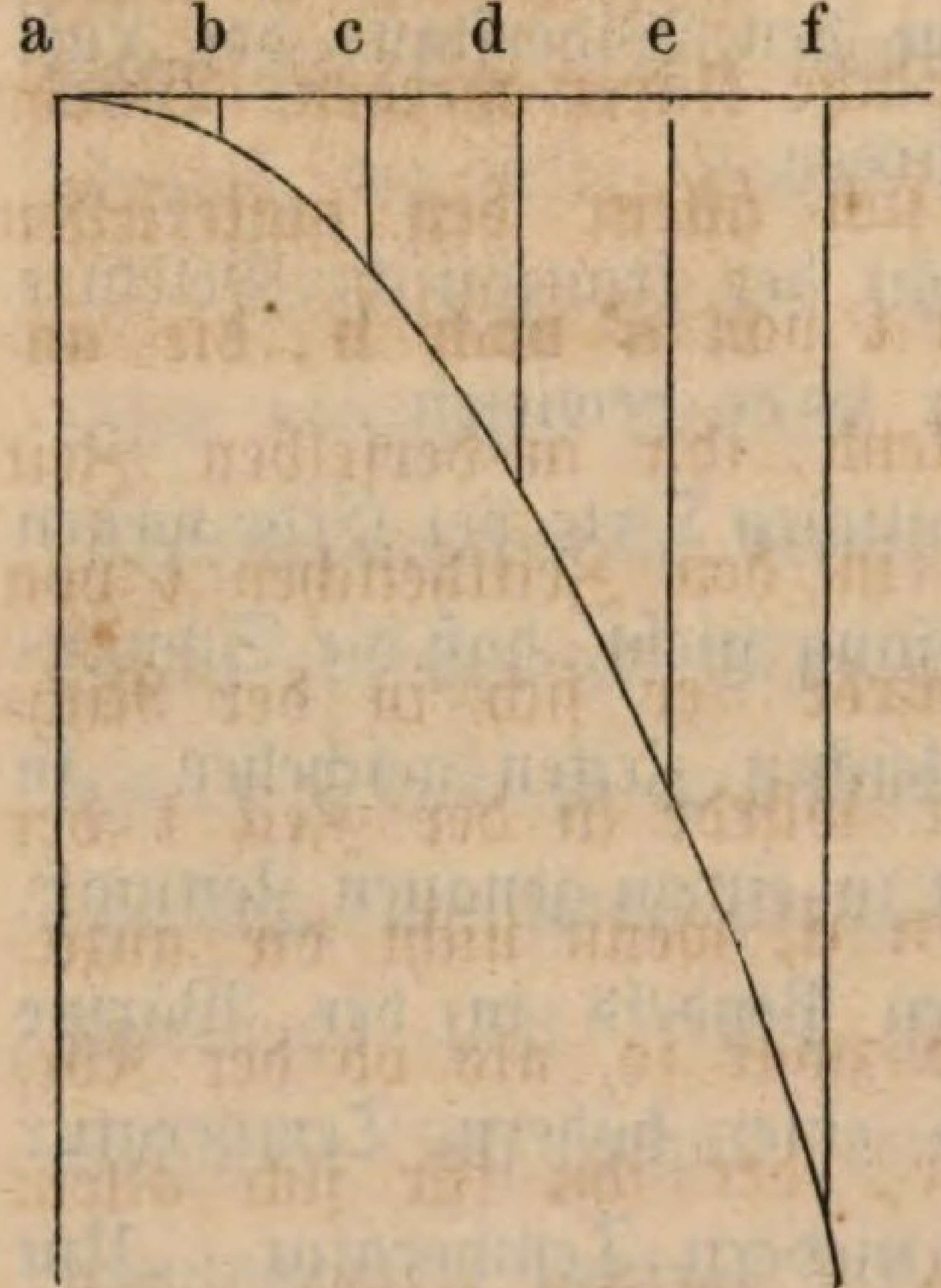
deren Ausdehnungen bei gleichen Temperaturerhöhungen sich nahe wie 18 zu 7 verhält, zusammenzusetzen, so daß bei der Ausdehnung des einen Metalls durch die Wärme die Linse sich um ebenso viel hebt, als sie durch die Ausdehnung des andern sich senkt. Solche Pendel nennt man Compensationspendel.

Wurfbewegung.

Während der Fall der Körper und die Pendelschwingungen lediglich durch die Wirkungen der Schwere erzeugt werden, wird ein geworfener Körper durch eine augenblicklich wirkende Kraft in Bewegung gesetzt, diese durch die Einwirkung der Schwere fortwährend ändern.

Würde letzteres nicht der Fall sein, so würde der geworfene Körper sich stets in horizontaler Richtung fortbewegen und zwar mit gleichförmiger Geschwindigkeit. Er würde vermöge des ihm ertheilten Stoßes in der ersten Secunde den Weg a b *(Fig. 25)*, in der zweiten den gleich großen Weg b c u. s. w. zurücklegen. Er müßte sich also am Ende der ersten, zweiten, dritten u. s. w. Secunde in den Punkten b c d u. s. w. befinden.

Fig. 25.

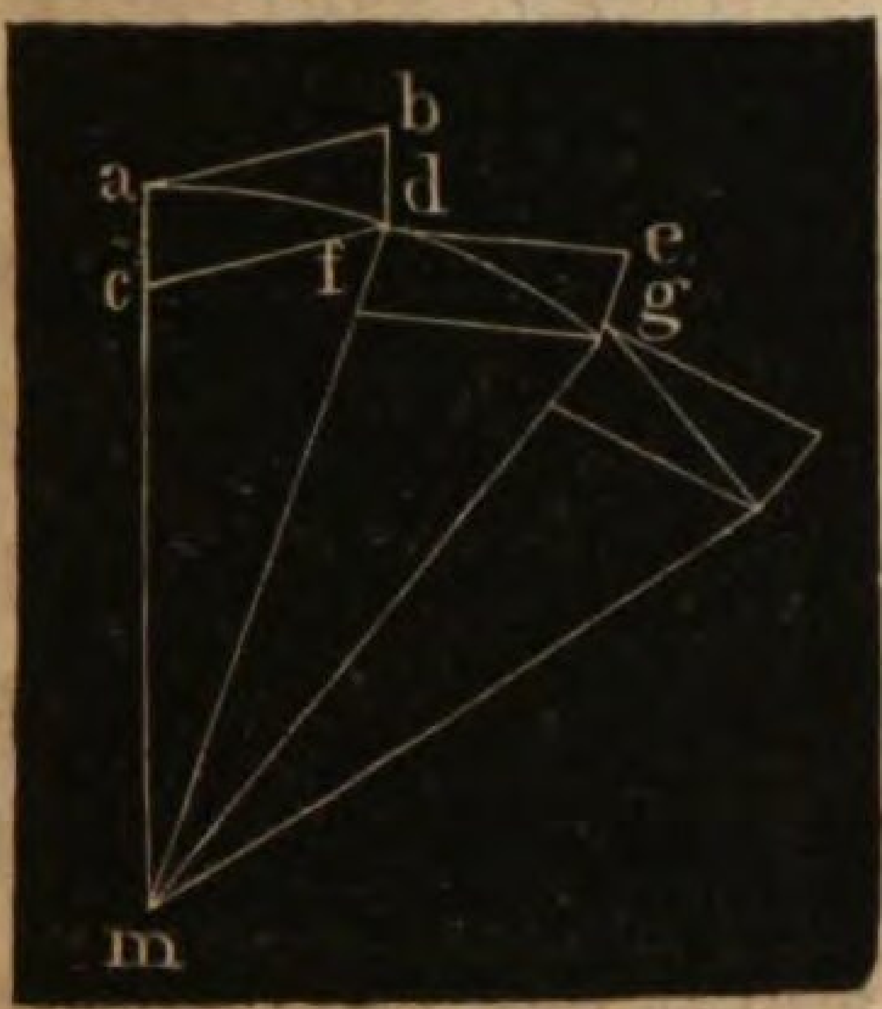


Durch die Schwere aber ist er gesunken; in der ersten Secunde ist er um 15 Fuß gefallen, er wird sich also am Ende derselben nicht in b, sondern 15 Fuß unter b befinden. Am Ende der zweiten Secunde ist er 60 Fuß unter c, am Ende der dritten 135 Fuß unter d.

Centralbewegung.

Diese Art der Bewegung beobachten wir an den Himmelskörpern, und es besteht dieselbe darin, daß wir die Richtung der Schwerkraft in verschiedenen Punkten der Bahn, welche sie durchlaufen, nicht mehr als parallel betrachten können. Denken wir uns, daß der Punkt a *(Fig. 26)*, welcher durch eine beständig wirkende Anziehungskraft nach dem Punkte m hingetrieben wird, beim Beginn seiner Bewegung durch irgend eine augenblicklich wirkende Kraft einen Stoß in der Richtung a b erhalten hätte, so wird er sich weder in der Richtung a b, noch in der Richtung a c bewegen, sondern in einer andern a d, die sich nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte ausmitteln läßt. Nehmen wir an, daß die stets nach m gerichtete anziehende Kraft stoßweise in kleinen Zwischenräumen wirke, so wird die Sache klarer werden. Würde der seitwärts gerichtete Stoß für sich allein den materiellen Punkt in einem kleinen Zeittheilchen t von a nach b, die anziehende Kraft für sich allein wirkend, ihn in derselben Zeit nach c führen, so bewegt er sich in den Zeittheilchen t von a nach d. In d angekommen, würde er sich in der Richtung d e weiter bewegen, und zwar würde in der Zeit t der Weg d e gerade so groß sein, wie a d, wenn nicht die anziehende Kraft von Neuem wirkte, und zwar so, als ob der Körper in d einen Stoß erhalten hätte, der ihn für sich allein wirkend in der Zeit t von d nach f geführt haben würde. Durch diese abermalige Einwirkung der anziehenden Kraft wird also der Körper wieder von der Richtung d e abgelenkt und nach g geführt. Es geht daraus hervor, daß, wenn der Körper

Fig. 26.



in a einmal einen seitwärts gerichteten Stoß empfangen hat, die anziehende Kraft stoßweise in kleinen Zwischenräumen wirkt, daß alsdann der Körper ein Vieleck beschreiben muß, welches sich einer krummen Linie um so mehr nähert, je kleiner die Zwischenräume sind.

Die Kraft, welche den Körper stets nach dem Anziehungspunkte hintreibt, heißt Centripetalkraft. Diejenige Kraft, welche den Körper stets von dem Mittelpunkt wegtreibt, heißt Centrifugalkraft oder Schwungkraft. Sie ist die Ursache, daß, wenn wir z. B. eine kleine Kugel uns als eine gewichtlose Masse am Ende einer Schnur befestigt denken, welche um einen Mittelpunkt gedreht wird, die Schnur fortwährend eine Spannung auszuhalten hat. *(Fig. 27.)*

Fig. 27.

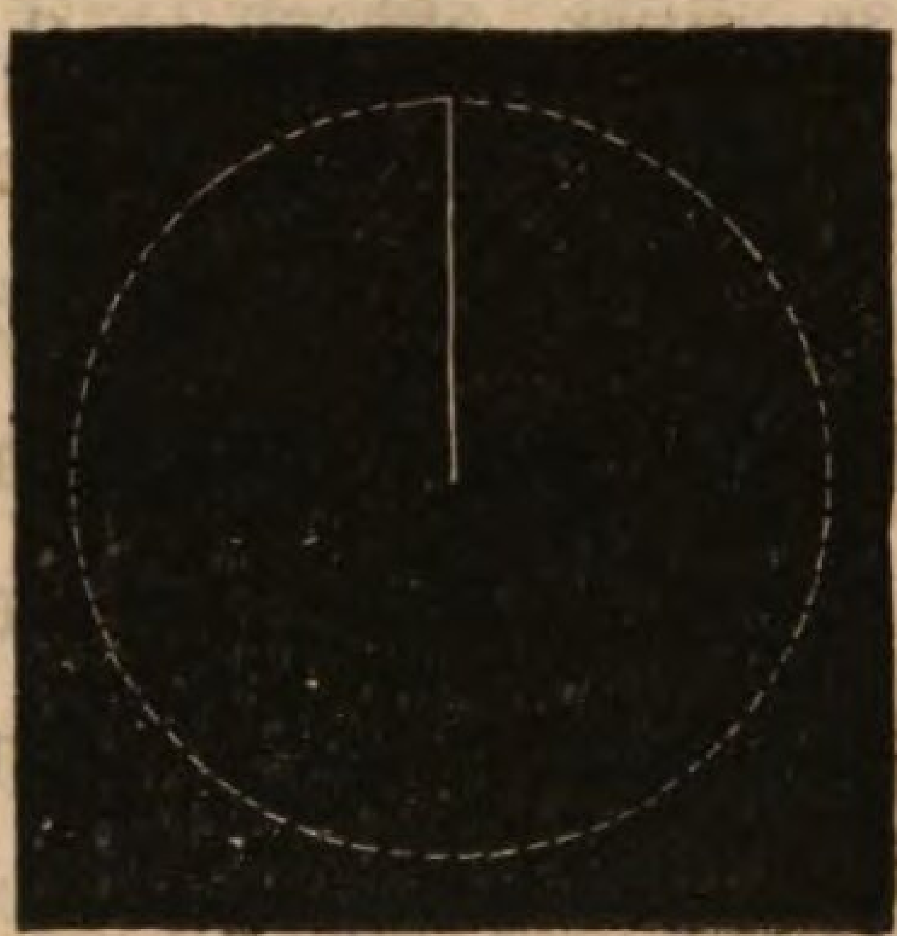
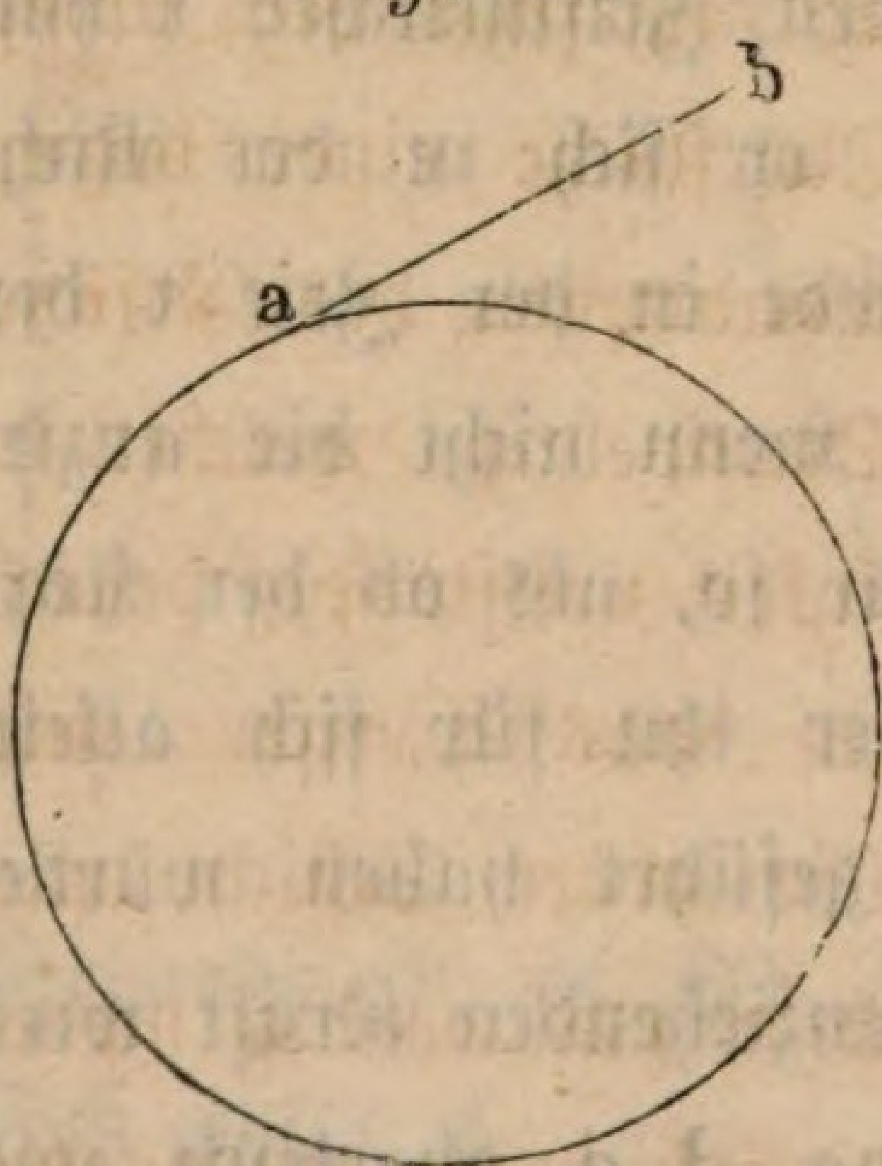
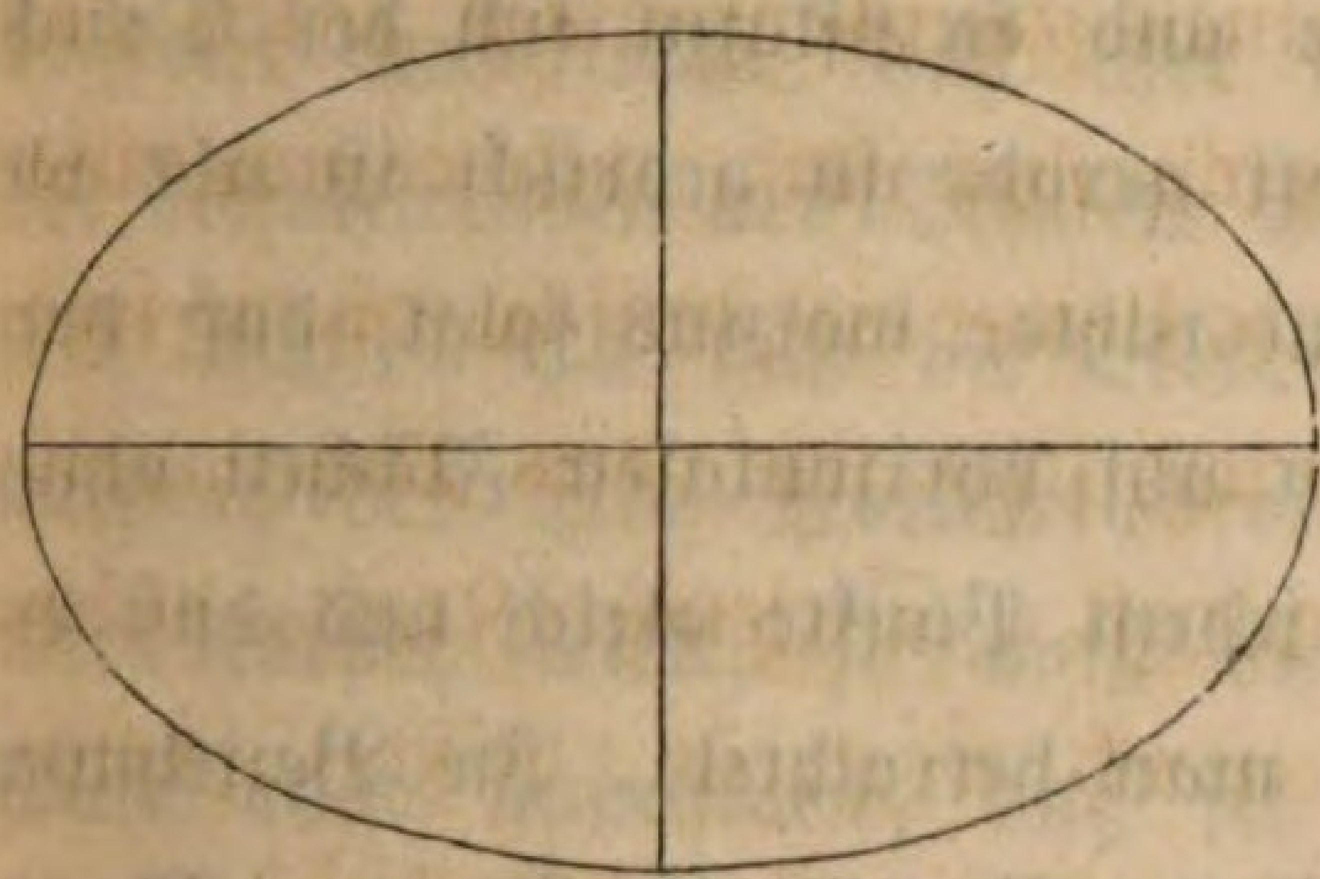


Fig. 28.



Hörte in irgend einem Momente der Centralbewegung die Centripetalkraft zu wirken auf, so würde von dem Augenblicke an der Körper in der Richtung der Tangente oder Berührungslinie sich *(Fig. 28)* fortbewegen und zwar mit einer Kraft, welche den Namen Tangentialkraft führt. Je nach dem Verhältniß zwischen diesen beiden Kräften kann die Bahn, welche ein Körper durchläuft, ein Kreis, eine Ellipse *(Fig. 29)* u. s. w. sein, welche letztere die Planeten des Weltgebäudes durchlaufen, indem sie sich um die Sonne bewegen. Sie durchlaufen diese Bahnen nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit und es gilt für die Bewegungen der Himmelskörper das allgemeine Newton'sche Gravitationsgesetz, daß die Himmelskörper

Fig. 29.

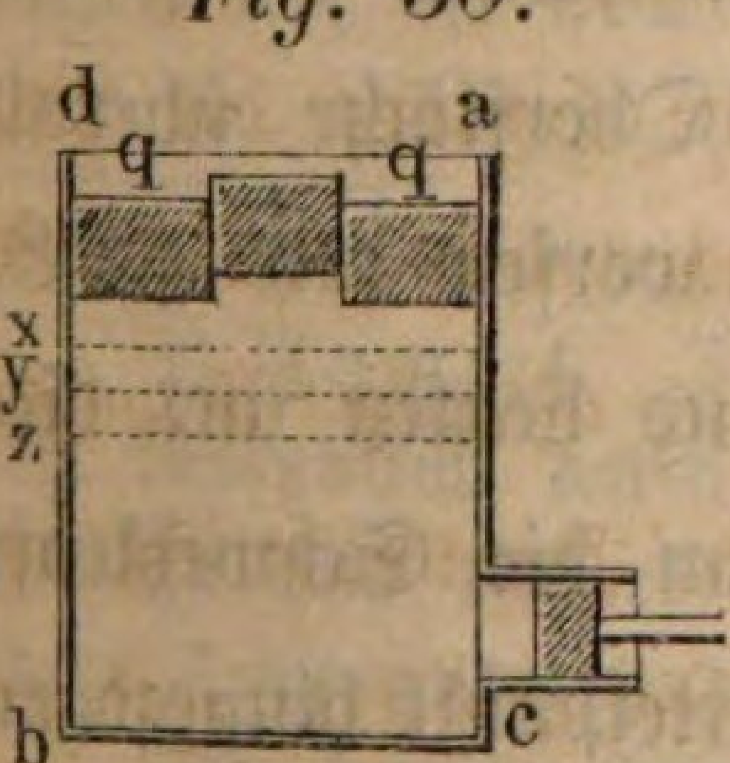


sich gegenseitig anziehen und daß die gegenseitige Kraft in geradem Verhältniß ihrer Masse und in umgekehrtem quadratischen Verhältniß der Entfernung steht.

Mechanische Erscheinungen flüssiger Körper.

Die flüssigen Körper sind von den festen durch die leichte Verschiebbarkeit ihrer Theile verschieden und die mechanischen Erscheinungen, welche wir wahrnehmen, beziehen sich hauptsächlich auf die Bedingungen des Gleichgewichts und auf den Druck, welchen die flüssigen Körper auf die Wände ihrer Behälter ausüben. Die Eigenschaften dieser Körper, wie das Wasser, Oel, Weingeist, Quecksilber ꝛc. sind durch zwei Kräfte bedingt, nämlich durch die Schwere, welche auf sie, wie auf alle Körper wirkt und die Molekularkraft, welche den eigenthümlich flüssigen Zustand bewirkt. Sammeln wir eine Flüssigkeit in einem Gefäß, so wird dieselbe die Gestalt des letzteren annehmen, und jeder Druck, welcher an einem Theil ihrer Oberfläche ausgeübt wird, wird sich nach allen Seiten hin gleichmäßig fortpflanzen. Es sei z. B. a b c d ein Gefäß *(Fig. 30)*, welches mit Wasser angefüllt ist; bringt

Fig. 30.



man nun auf die Oberfläche einen beweglichen aber in die Wandungen des Gefäßes fest anschließenden Stempel q, welcher die Oberfläche der Flüssigkeit vollständig bedeckt, so wird derselbe auf das Wasser einen Druck ausüben. Die obere Schicht wird nun den ganzen Druck aushalten, und würde nothwendig niedergedrückt werden, wenn sie nicht durch die Schicht y aufgehalten würde. Die Schicht x drückt demnach gerade so stark auf die Schicht

y, wie sie selbst durch den Stempel gedrückt wird. Ebenso drückt die Schicht y auf die folgende z und so pflanzt sich der Druck bis zum Boden fort, welcher selbst gerade so gedrückt ist als ob der Stempel unmittelbar auf ihm ruhte, woraus folgt, daß der Druck sich von oben nach unten auf horizontalen Flächen ohne Verlust fortpflanzt, daß er in jedem Punkte gleich und daß er der Fläche proportional ist, die man betrachtet. In Beziehung auf die Seitenflächen findet dasselbe Verhältniß Statt. Wenn man aber eine Oeffnung in die Seitenwand machte, so würde das Wasser hervorspritzen. Hätte der Stempel eine Oeffnung, so würde das Wasser aus dieser hervorspritzen, wodurch klar wird, daß die Oberfläche des Stempels selbst gerade so wie alle anderen Wände gedrückt ist.

Sollen tropfbar-flüssige Körper im Gleichgewicht sein, so müssen zwei Bedingungen erfüllt sein: erstens muß ihre freie Oberfläche rechtwinkelig zu der Richtung der Schwere und zweitens müssen die Druckkräfte, welche auf ein jedes Molekül wirken, stets einander gleich und entgegengesetzt sein. Ist die Oberfläche der Flüssigkeit nicht rechtwinkelig zur Richtung der Schwerkraft, so kann man durch irgend zwei Punkte sich eine schiefe Ebene gelegt denken; ein Theil der Flüssigkeit liegt auf dieser schiefen Ebene und muß wegen der leichten Verschiebbarkeit der Theilchen nothwendig von der schiefen Ebene herabgleiten. Dies wird nun so lange geschehen müssen, bis die ganze Oberfläche überall rechtwinkelig zur Richtung der Schwere ist; werfen wir z. B. einen Blick auf die Oberfläche des Meeres und denken uns dieselbe als vollkommen ruhig, so muß sie, wenn die Schwerkraft allein wirkt, und wenn sie stets nach dem Mittelpunkt hingezogen wird, eine vollkommene Kugeloberfläche sein, und die Oberfläche aller unter sich zusammenhängenden Meere muß vom Mittelpunkt gleich weit entfernt sein. Wenn nun die Moleküle oder

kleinsten Theilchen noch durch andere Kräfte erregt werden, so begreift man leicht, daß ihre freie Oberfläche rechtwinkelig zu der Resultirenden der Schwere und aller andern wirkenden Kräfte sein muß. Da nun die Centrifugalkraft, welche von der Bewegung der Erde herrührt, fortwährend mit der Schwere auf alle Körper wirkt, so muß die Oberfläche der Gewässer eine solche Lage annehmen, daß sie rechtwinkelig zur Resultirenden beider Kräfte ist. Am Fuße großer Berge, welche das Bleiloth abzulenken im Stande sind, ist die Oberfläche der Gewässer ebenfalls von der regelmäßigen Form abgelenkt. — Die bewegliche Oberfläche des Meeres strebt stets in eine Gleichgewichtslage zu kommen, welche durch die Bewegung des Mondes gestört wird und dadurch entstehen die periodischen Schwankungen von Ebbe und Fluth.*) Auch wenn wir Wasser in Gefäßen haben, erleidet die Oberfläche eine Abweichung; das Wasser wird nicht in seiner ganzen Ausdehnung eben sein, sondern sich am Rande erheben, was lediglich von der Adhäsion oder Anhaftungskraft herrührt.

Sind flüssige Massen im Gleichgewicht, so üben sie auf sich selbst und auf alle festen Körper, welche sie berühren, einen mehr oder minder bedeutenden Druck aus, dessen Werth näher zu bestimmen ist. Der Druck, den eine Flüssigkeit von oben nach unten auf den Boden eines Gefäßes ausübt, in welchem sie enthalten ist, ist von der Form des Gefäßes ganz unabhängig; sie

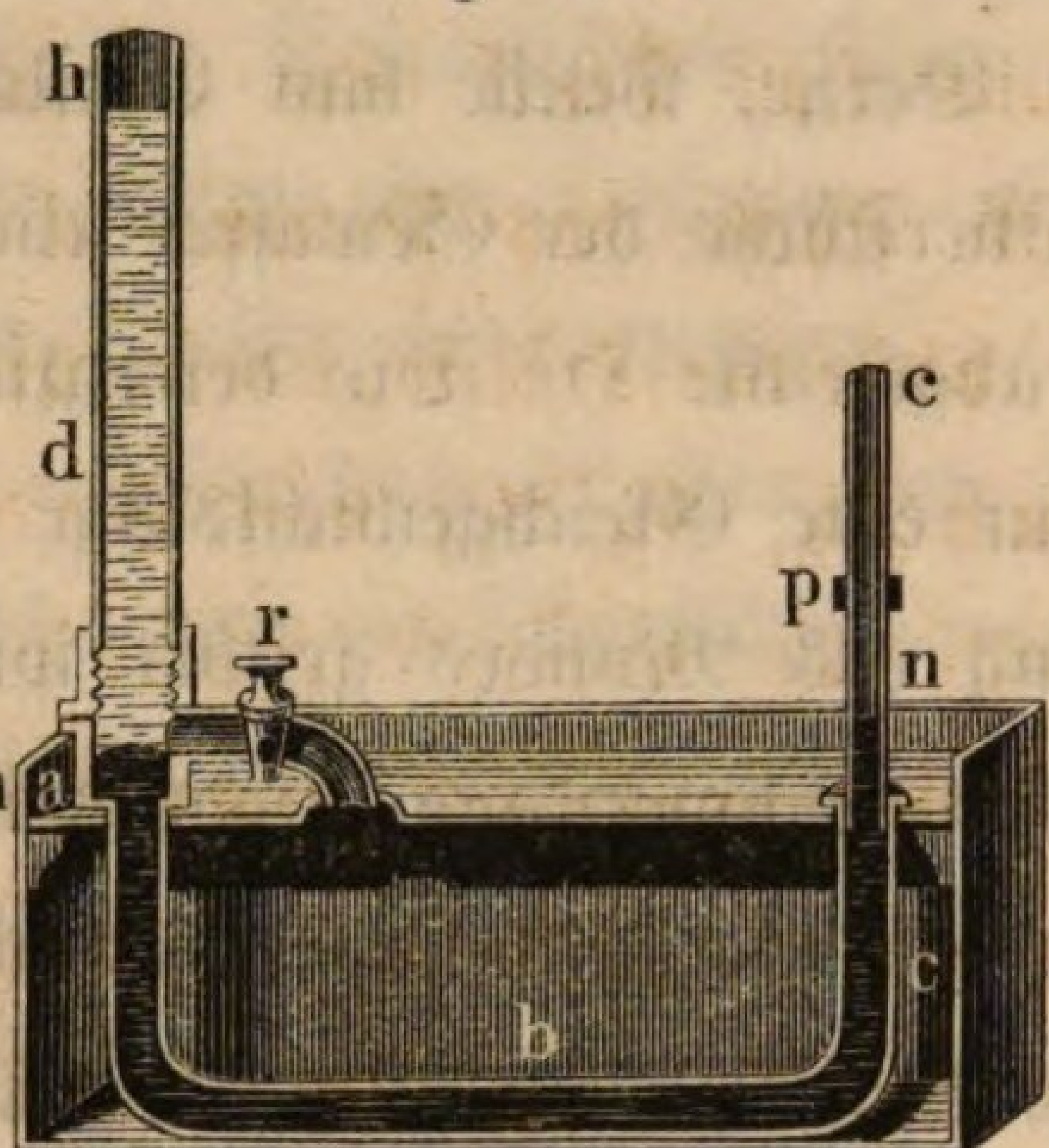
---

*) Anmerk. Die mit Ebbe und Fluth bezeichnete Erscheinung besteht bekanntlich darin, daß ungefähr 6 Stunden lang das Meer steigt (Fluth), und daß es wieder in den nächsten 6 Stunden fällt (Ebbe). An jedem Tage findet zwei Mal Ebbe und Fluth Statt.

Sämmtliche Wirkungen im Planetensystem sind gegenseitig und der Mond zeigt nicht allein Anziehungskraft gegen die Erde, sondern auch die Erde gegen den Mond. Da aber nicht alle Punkte der Erdkugel in gleichem Abstand von dem Monde stehen, so sind sie ungleichen Anziehungskräften unterworfen und daraus entspringt die Ebbe und Fluth.

ist immer dem Gewicht einer Säule von derselben Flüssigkeit gleich, deren Basis der Boden des Gefäßes und deren Höhe die vertikale Entfernung vom Boden bis zum Spiegel der Flüssigkeit ist. Von dem Gesagten können wir uns leicht überzeugen, wenn wir einen Apparat zu Hülfe nehmen, wie er in beistehender *Fig. 31* abgebildet ist. Derselbe besteht aus einer gebogenen Röhre,

Fig. 31



welche in einem Kasten befestigt und so eingerichtet ist, daß man bei a Gefäße verschiedener Form aufschrauben kann. Man gießt nun Quecksilber in die Röhre und bezeichnet auf den Arm bei c mit Hülfe einer verschiebbaren Marke die Höhe n, bis zu welcher das Quecksilber aufsteigt. Wird nun bei a das cylindrische Gefäß aufgeschraubt und bis zu einer bestimmten Höhe h mit Wasser gefüllt, so wird das Quecksilber in der Röhre bis zu einer Höhe p steigen, die man sich bemerkt. Die Erhebung n p der Quecksilbersäule rührt offenbar von dem Druck her, welchen das im Gefäß d enthaltene Wasser auf die Oberfläche des Quecksilbers ausübt, welches den wahren Boden dieses Gefäßes bildet. Ist die Beobachtung gemacht, so entleert man das Gefäß d mit Hülfe des Hahns r, nimmt es weg, um an seiner Stelle das oben erweiterte Gefäß e oder engere Gefäß f anzuschrauben. Gießt man diese Gefäße ebenso hoch voll Wasser, wie vorher das Gefäß d, so wird das Quecksilber in der Röhre c auch wieder genau bis zur Höhe p steigen. Der Druck also, welchen der Boden dieser drei verschieden geformten Gefäße erleidet, ist genau derselbe, wenn die Höhe der Flüssigkeit dieselbe ist; mithin hängt der Druck nicht von der Form des Gefäßes,

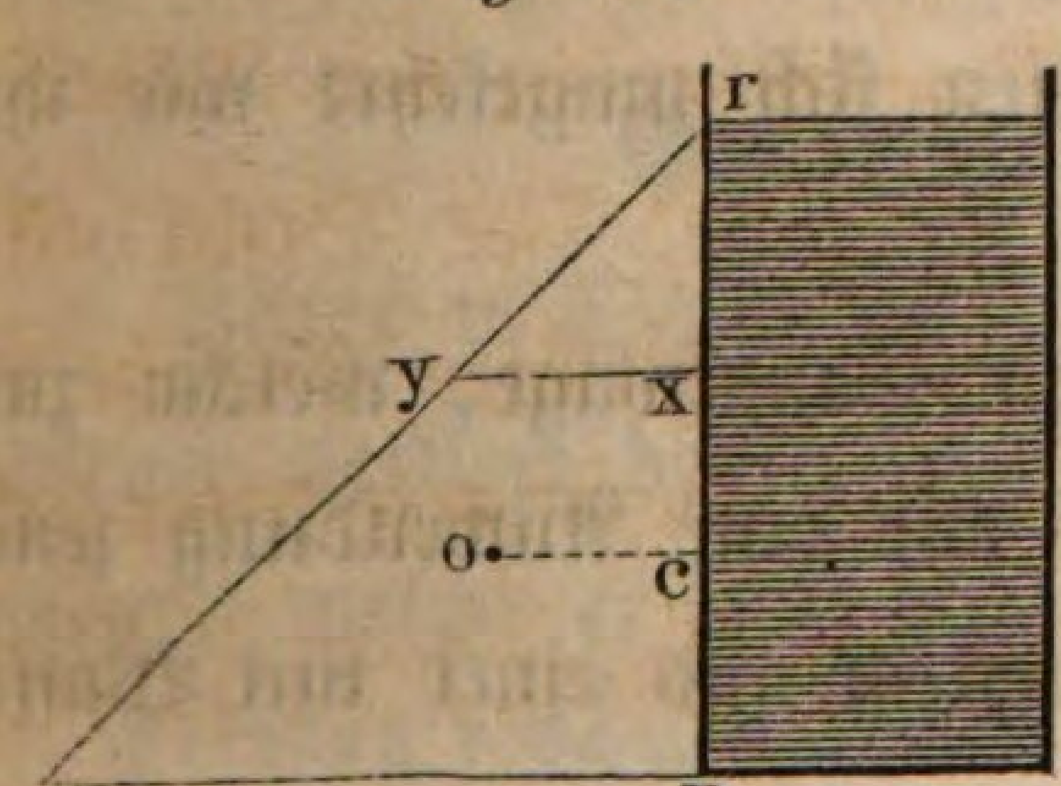
sondern von der Größe des Bodens, der Höhe der Flüssigkeit und der Natur derselben ab. — Der Druck ist derselbe, das Gefäß mag cylindrisch, mag viel oder wenig Flüssigkeit enthalten, mag gerade oder schief sein.

Um den zweiten Theil zu beweisen, genügt es, zu bemerken, daß der Boden des cylindrischen Gefäßes genau das ganze Gewicht der Flüssigkeit tragen muß, denn da die Seitenwände vertikal sind, so können sie nicht den mindesten Theil vom Gewicht der Flüssigkeit tragen. — Da nun alle Theile des Bodens gleich stark gedrückt sind, so ist es klar, daß die Hälfte, der dritte Theil u. s. w. des ganzen Bodens auch $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. w. des ganzen Drucks auszuhalten hat.

Da nun die Flüssigkeit nicht allein auf den Boden der Gefäße einen Druck ausübt, sondern auf jeden Punkt im Innern der flüssigen Masse, so sind auch alle Moleküle dieser Schicht offenbar durch die darüber befindliche Flüssigkeit gedrückt. Einen ganz gleichen Druck muß aber auch die Schicht in entgegengesetzter Richtung von unten nach oben aushalten.

Der Druck, welchen ein Stück der Seitenwand aushält, ist dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule gleich, welche so hoch ist, wie der Schwerpunkt dieses Wandstücks unter dem Spiegel liegt, und deren Grundlage der Größe des Wandstücks selbst gleich ist. — Der Seitendruck läßt sich aus dem entsprechenden horizontalen Druck nach dem Prinzip der gleichmäßigen Fortpflanzung des Drucks nach allen Seiten ableiten. Man ziehe z. B. in x eines mit Flüssigkeit gefüllten Gefäßes *(Fig. 32)* eine wagerechte Linie und mache ihre Länge x y gleich der Tiefe des Punktes x unter dem Wasserspiegel, so kann die Linie x y den Druck repräsenti-

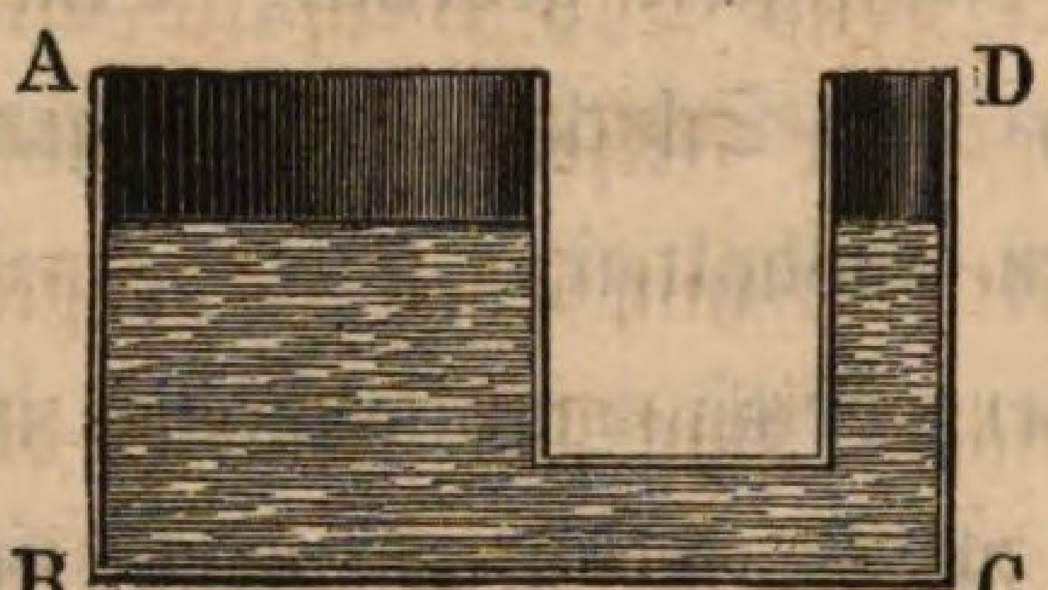
Fig. 32



ren, den der Punkt x auszuhalten hat; macht man dieselbe Construction für mehrere Punkte der senkrechten Linie r p, so werden die Endpunkte aller der horizontalen Drucklinien in die Linie r t fallen; es folgt daraus, daß der Gesammtdruck, welchen die Linie r p der vertikalen Gefäßwand auszuhalten hat, durch das Dreieck r p t repräsentirt ist. Der Mittelpunkt des Drucks für die vertikale Linie r p ist c und der Schwerpunkt des Dreiecks r p t liegt bei o.

Für Flüssigkeiten, die sich in Gefäßen befinden, welche mit einander verbunden sind, d. h. in communicirende Röhren, gelten bei ein und derselben Flüssigkeit die oben ausgesprochenen Bedingungen des Gleichgewichts, d. h. wenn beide Gefäße dieselbe Flüssigkeit enthalten, so muß der Spiegel in beiden gleich sein, *(Fig. 33)*, gleichviel ob der Durchmesser in beiden gleich ist oder ob die eine Röhre enger ist. Ist aber die Flüssigkeit in beiden Gefäßen verschieden, so wird auch der Spiegel in beiden nicht gleich hoch sein; es befinde sich z. B. in dem einen Gefäß Wasser, in dem andern Quecksilber, so müssen sich beide das Gleichgewicht halten, d. h. die Höhen der Flüssigkeitssäulen verhalten sich umgekehrt, wie die specifischen Gewichte; da nun aber das Quecksilber 13,7mal schwerer ist, als das Wasser, so wird die Flüssigkeitssäule des ersteren 13,7mal niedriger sein, als die des Wassers. Welche verschiedene Flüssigkeiten man auch anwenden mag, die Höhen der Säulen verhalten sich umgekehrt wie ihre specifischen Gewichte.

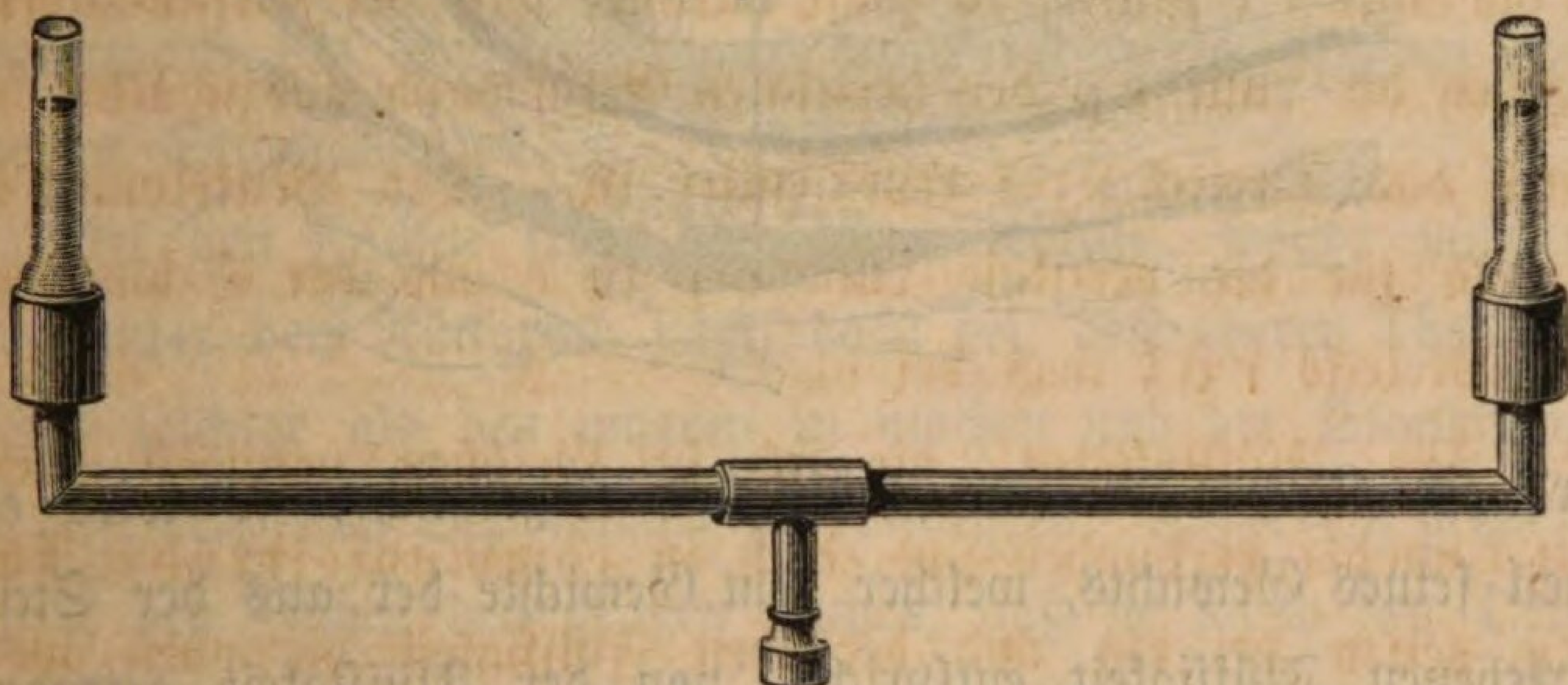
Fig. 33.



Berücksichtigen wir z. B. die sog. Canalwage, welche zum Nivelliren gebraucht wird, so haben wir eine Anwendung jenes ausgesprochenen Satzes. Eine solche besteht aus einer mit Wasser

gefüllten blechernen Röhre, welche an ihren Enden zwei senkrecht in die Höhe gehende Cylinder trägt, in denen die Oberflächen des Wassers in horizontaler Linie liegen. *(Fig. 34.)*

Fig. 34.

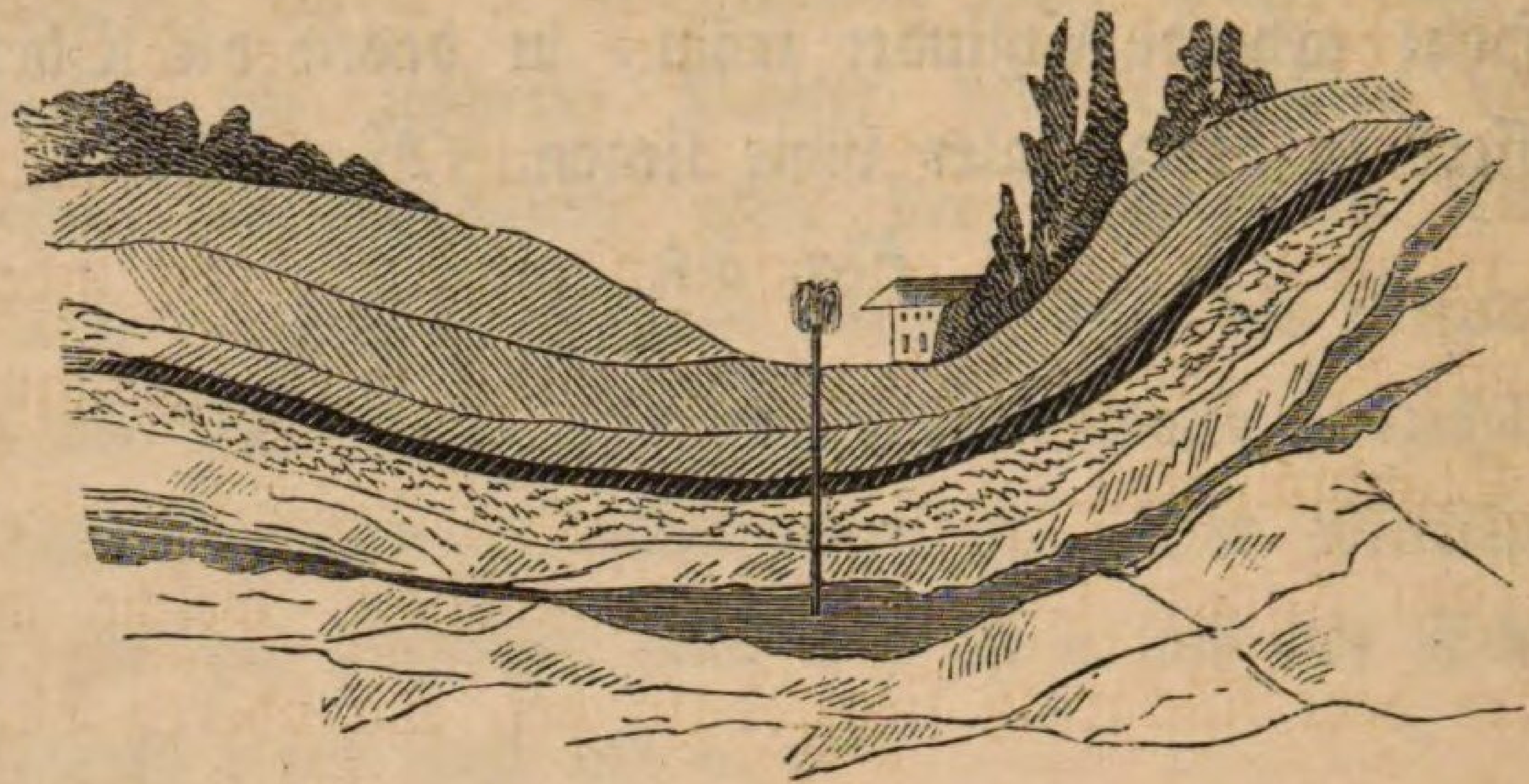


Diese Erscheinungen der Flüssigkeiten finden jedoch nicht allein bei solchen Statt, welche sich in Gefäßen befinden, sondern auch bei den Gewässern, welche über unserer Erdoberfläche verbreitet sind. Bei Wasserleitungen und Bohrlöchern, bei welchen letzteren das Wasser oft empor steigt, findet der obige Satz ebenfalls Anwendung. Das durch poröse Gesteine oder Felsenspalten in die Tiefe eindringende Regenwasser sammelt sich zum Theil in großen Becken, zum Theil in unterirdischen Canälen; zum Theil füllt es die Zwischenräume poröser oder zerklüfteter Steine aus. Verdankt dieses Wasser seinen Ursprung höher gelegenen Stellen und befindet es sich zwischen zwei dichten Erd- oder Felsschichten, welche sowohl sein weiteres Eindringen in die Tiefe, als auch sein Emporsteigen hindern und man durchbohrt im Thale die Schicht a, welche die wasserhaltige Schicht c bedeckt, so steigt das Wasser in dem Bohrloche in die Höhe. *(Fig. 35 S. 65).*

Gewichtsverlust fester Körper.

Jeder in Wasser oder überhaupt eine Flüssigkeit eingetauchte Körper verliert darin so viel am Gewicht, wie die Wassermasse wiegt, welche er aus der Stelle treibt, oder besser ausgedrückt:

(*Fig. 35*)



wird ein Körper in eine Flüssigkeit eingetaucht, so wird ein Theil seines Gewichts, welcher dem Gewichte der aus der Stelle getriebenen Flüssigkeit entspricht, von der Flüssigkeit getragen. Dieser Satz wurde zuerst von Archimedes ausgesprochen und wird daher das Archimedi'sche Princip genannt.

Beim Eintauchen des Körpers in eine Flüssigkeit können nun drei Fälle stattfinden; ist der Körper schwerer als Wasser, so wird er zu Boden sinken; ist er von gleicher Schwere, so wird er im Wasser ruhen; ist er leichter, so wird er in die Höhe getrieben, und zwar um so viel, wie der Unterschied zwischen seinem eigenen Gewicht und dem des durch ihn verdrängten Wassers beträgt. Damit aber ein Körper auf dem Wasser schwimmen kann, ist nicht unbedingt erforderlich, daß er spec. leichter ist als Wasser; auch spec. schwerere Körper können zum Schwimmen gebracht werden, wenn man sie aushöhlt oder mit spec. leichteren Körpern verbindet. Damit aber ein schwimmender Körper sich im Gleichgewicht befinde, sind zwei Bedingungen erforderlich, 1) das Gewicht des durch den eingetauchten Theil verdrängten Wassers muß gleich sein dem ganzen Gewicht des Körpers und 2) der Schwerpunkt des Körpers, sowie der Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse müssen in lothrechter Linie liegen.

Die Standfähigkeit des schwimmenden Körpers ist im All-

gemeinen um so größer, je tiefer sein Schwerpunkt unter den Schwerpunkt des Wassers fällt, welches er aus der Stelle treibt, weshalb auch z. B. die Schiffer den unteren Schiffsraum mit möglichst schweren Körpern auszufüllen pflegen; denn indem der Schwerpunkt des Schiffs hiedurch erniedrigt wird, gewinnt dasselbe an Standfähigkeit.

Bei den Fischen trägt die Schwimmblase, welche meistentheils unter dem Rückgrath liegt, dazu bei, den oberen Theil des Fisches leichter als den unteren zu machen und die Standfähigkeit desselben beim Schwimmen zu vermehren. Außerdem gewährt dieselbe den Fischen den großen Nutzen, daß sie durch den Druck der Rippen die in der Blase enthaltene Luft zusammenpressen, welche sich, sowie der Druck nachläßt, wieder ausdehnt, wodurch veranlaßt wird, daß die Fische im Wasser auf- und niedersteigen können.

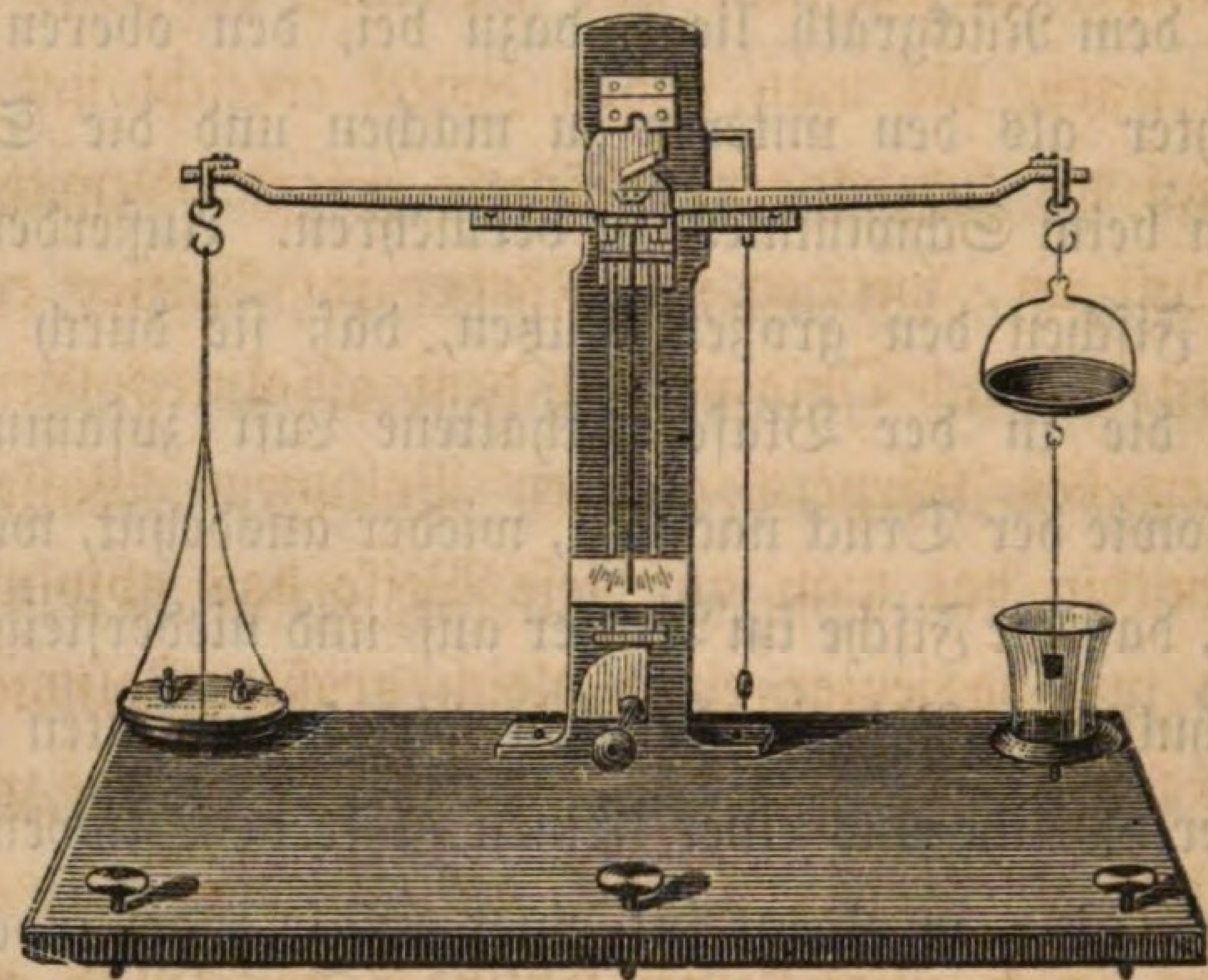
Auf ähnlichem Princip beruhen die sogenannten cartesianischen Taucher, welche aus einer kleinen gläsernen, inwendig hohlen Figur bestehen und in einem mit einer Blase zugebundenen Glase auf Wasser schwimmen. Uebt man nun auf die Blase einen Druck aus, so wird dieser durch das Wasser sich fortpflanzen und auch die in dem hohlen Körper enthaltene Luft zusammendrücken, so daß derselbe zu Boden sinkt; er wird aber wieder in die Höhe steigen, sobald der Druck aufgehoben wird, da nun die in ihm enthaltene Luft das Wasser wieder austreibt; denn an dem untern Ende der Figur befindet sich eine gebogene Röhre, in welche das Wasser sogleich eindringen würde, wenn nicht die im Innern enthaltene Luft diesem widerstände.

Das hier Gesagte gilt nur von natürlichem Schwimmen im Wasser; das künstliche Schwimmen kann nur durch gegen das Wasser ausgeübte Stöße der Oberfläche desselben bewirkt werden, weshalb der Mensch sich nur durch künstliches Schwimmen vor dem Ertrinken sichern kann.

Bestimmung des spec. Gewichts fester und flüssiger Körper.

Das Archimedi'sche Princip, nach welchem jeder Körper im Wasser so viel am Gewicht verliert, liefert ein herrliches Mittel das spec. Gewicht fester Körper zu bestimmen. Man bedient sich dazu der hydrostatischen Wage, *(Fig. 36)* welche hinsichtlich

Fig. 36.



ihrer Construction einer feinen chemischen Wage entspricht, sich aber dadurch von dieser unterscheidet, daß an dem einen Ende des Wagebalkens sich eine an kurzen Schnüren aufgehängte Schale befindet, die an der unteren Seite mit einem kleinem Häkchen versehen ist, an welchem der zu bestimmende Körper befestigt werden kann. Man kann daher eine jede gute chemische Wage dazu benutzen, und braucht nur die eine Schale mit der erwähnten zu wechseln.

Ist der fragliche Körper in Wasser unlöslich und in festen Stücken zu haben, so ist die Bestimmung eines spec. Gewichts keinen großen Schwierigkeiten unterworfen. Man wägt zunächst den Körper in der Luft, indem man ihn auf die kurz gehängte Wagschale legt und das Gewicht notirt; alsdann befestigt man ihn vermittelst einer Schlinge an einem Silber- oder Platina-

draht, hängt diesen mit dem Körper an das auf der unteren Seite befindliche Häkchen, (vorausgesetzt, daß das Gleichgewicht der Wage durch den befestigten Draht nicht gestört, oder vielmehr wieder hergestellt worden ist) und senkt den Körper in ein Gefäß mit destillirtem Wasser. Man wird bald wahrnehmen, daß das Gleichgewicht gestört ist und sieht sich daher genöthigt, um dieses wieder herzustellen, auf die kurz hängende Wagschale Gewichte zu legen, bis man seinen Zweck erreicht hat.

Das auf die kurzhängende Schale gelegte Gewicht gibt den Gewichtsverlust an, welchen der Körper im Wasser erleidet und dieser Verlust ist nach Obigem mit dem absoluten Gewicht eines dem Volumen des Körpers gleichen Volumens Wasser übereinstimmend; mithin hat man auf diese Weise das absolute Gewicht des Körpers und dasjenige eines gleich großen Volumens Wasser erfahren und nur nöthig, das erstere durch das letztere zu dividiren.

Man kann übrigens, anstatt des Aufhängens, vermittelst eines Drahtes, auch einen kleinen Cylinder von Glas oder Metall wählen und in diesem den Körper unter Wasser wägen, wobei zu berücksichtigen ist, daß man, nachdem man das absolute Gewicht bestimmt hat, den Gewichtsverlust des Cylinders unter Wasser von dem Gesammtverlust dieses und des Körpers abzieht.

Bei festen Körpern, welche auf dem Wasser schwimmen, muß man einen metallischen Körper zu Hülfe nehmen, welcher im Stande ist, den zu bestimmenden, auf dem Wasser schwimmenden Körper mit unter das Wasser zu ziehen. Man ermittelt dann zuerst den Verlust, welchen der metallische Körper im Wasser erleidet; alsdann den, welchen beide zusammen haben und zieht jenen vom Gesammtverlust ab, wodurch man das Resultat des wirklichen Verlustes jenes schwimmenden Körpers erhält. Ist der Körper in Pulverform, so benutzt man ebenfalls den erwähnten Cylinder; jedoch kann man für diesen Zweck auch noch eine andere

Methode in Anwendung bringen, indem man statt der hydrostatischen Wage ein Glaskölbchen benutzt, welches mit eingeriebenem Stöpsel versehen ist. Man wägt dasselbe und ermittelt die Quantität Wassers, welche das Kölbchen zu fassen vermag, wobei jedoch die Temperatur genau zu berücksichtigen ist. Hierauf wägt man den Körper, wie gewöhnlich, auf einer Wage, bringt denselben in das leere Kölbchen und füllt es mit Wasser, nimmt abermals eine Wägung vor, die ein geringeres Resultat ergeben wird, da durch den in das Kölbchen getragenen Körper Wasser verdrängt worden ist. Zieht man nun dieses Gewicht von dem, was das leere Fläschchen fassen kann, ab, so erfährt man natürlich das Gewicht des verdrängten Wassers, welches dem Volumen des Körpers gleicht.

Für die praktische Ausführung mögen hier einige Beispiele folgen; angenommen, es solle z. B. mit Hülfe der hydrostatischen Wage das spec. Gewicht des Eisens bestimmt werden: ein dazu verwandtes Stück Eisen wiege 8,090 Gramm; dasselbe verliert im Wasser gewogen 1,050 Gramm; mithin beträgt das spec. Gewicht des Eisens $\frac{8,090}{1,050} = 7,7$. Es soll ferner z. B. das spec. Gewicht eines auf Wasser schwimmenden Körpers, etwa eines Korks, bestimmt werden: der Kork wiege 0,732 Gramm; der Draht und das zu Hülfe genommene Stück Metall verliere im Wasser 1,100 Gramm; Metalldraht und Kork verlieren aber zusammen im Wasser 4,150 Gramm; folglich verliert der Kork allein 3,050 Gramme. Also wiegt eine dem Volumen von 0,732 Grammen Kork gleiches Volumen Wasser, 3,050 Gramm, und es ist $\frac{0,732}{3,050}$ Gramm $= 0,24$ das spec. Gewicht des Korks.

Es soll ferner das spec. Gewicht eines pulverförmigen Körpers mit Hülfe des erwähnten Glaskölbchens ermittelt werden. Das Kölbchen wiegt leer 5,115 Gramme, mit Wasser angefüllt

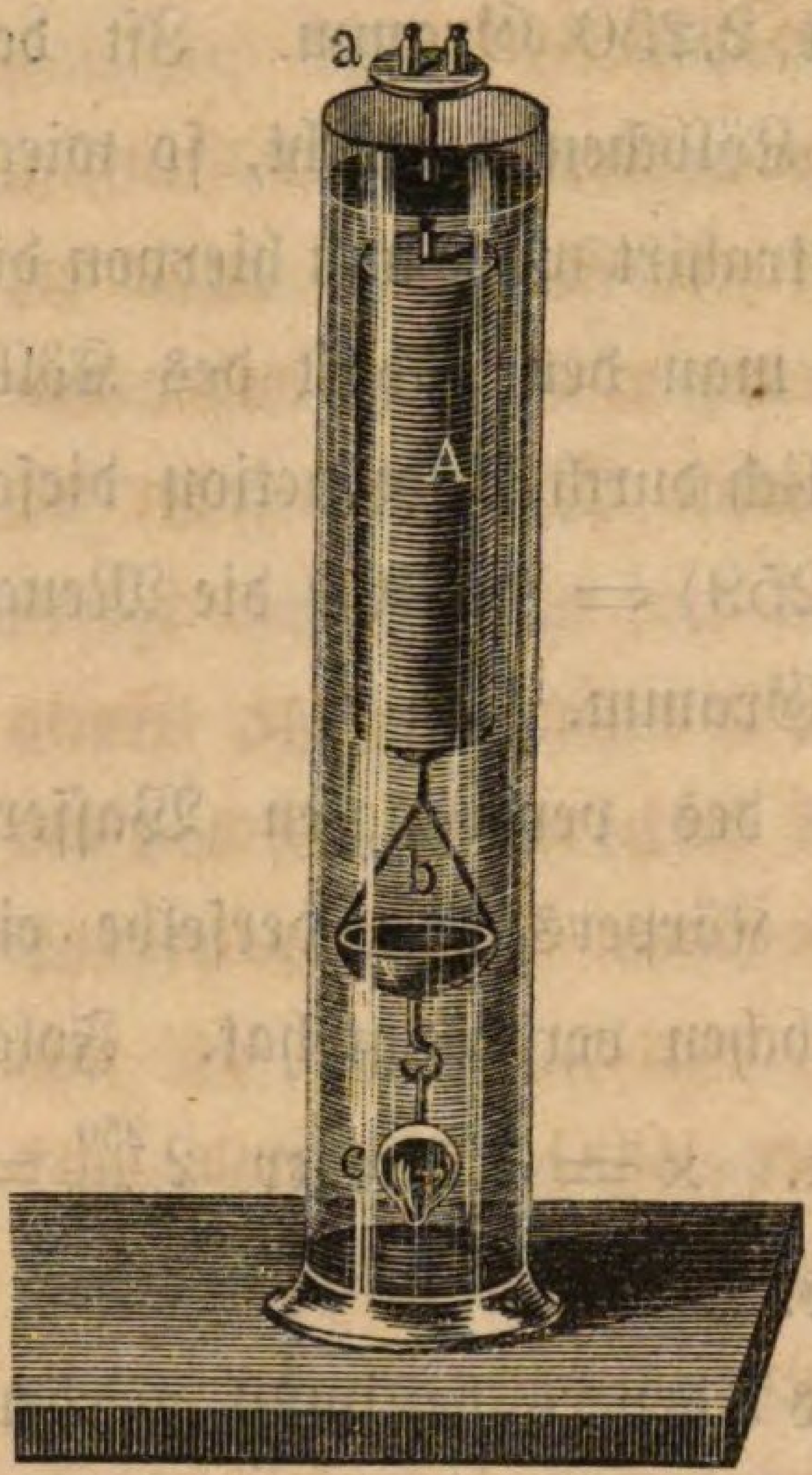
16,225 Gramm; faßt also 11,110 Gramm Wasser; der zu bestimmende Körper wiegt in der Luft 2,250 Gramm. Ist der Körper in das mit Wasser angefüllte Kölbchen gebracht, so wiegt dieses zusammen 17,872 Gramm; subtrahirt man nun hiervon die Tara, also 5,115 Gramm, so erhält man den Inhalt des Kölbchens oder 12,757 Gramme und endlich durch Subtraction dieser Zahlen (12,757) von (11,110 + 2,259) = 13,360 die Menge des verdrängten Wassers = 0,603 Gramm.

Diese Zahl für das Volumen des verdrängten Wassers entspricht natürlich dem Volumen des Körpers, da derselbe ein gleiches Volumen Wasser aus dem Kölbchen verdrängt hat. Folglich ist 0,603 : 2,250 = 1,00 : x. x = 3,7 oder $2\frac{250}{0603}$ = 3,73 des spec. Gewichts des Körpers.

Soll nun das spec. Gewicht eines Körpers bestimmt werden, der im Wasser löslich ist, so muß man ihn in solchen Flüssigkeiten, in denen er unlöslich ist, z. B. in Terpentinöl, Weingeist u. s. w. wägen, wobei man jedoch das spec. Gewicht der Flüssigkeiten zu berücksichtigen hat. Ein in Terpentinöl unlösliches Salz wiegt z. B. 6,210 Gramm und verliert im Terpentinöl (dessen spec. Gewicht 0,872) gewogen 3,100, folglich ergiebt $\frac{6,210}{3,100}$ = 3,010 und diese Zahl mit dem spec. Gewicht des Terpentinöls, nämlich mit 0,872 multiplicirt, also 1,744 sich als das spec. Gewicht des Salzes.

Früher pflegte man zur Bestimmung des spec. Gewichts fester Körper sich eines Instruments, der Nichelson'schen Senkwage zu bedienen, wiewohl dieselbe nicht sehr genau ist. Sie bildet *(Fig. 37)* einen hohlen Körper A von Metall, an welchem unten eine mit Quecksilber gefüllte Kugel c sich befindet, oben aber ein feines Stäbchen angebracht ist, welches einen kleinen Teller a trägt, von der Größe, daß man kleine Körper und Ge-

Fig. 37.



wichte auf denselben legen kann. Taucht man das Instrument in Wasser, so schwimmt dasselbe wegen der unten befindlichen mit Quecksilber gefüllten Kugel c aufrecht, so daß der oberste Theil aus dem Wasser hervorragt. Will man nun das spec. Gewicht eines festen Körpers bestimmen, so legt man denselben auf den Teller und das Instrument sinkt dann weiter ein, welches man so weit befördern kann, daß es bis zu einem Punkte eingesenkt ist, welchen man gewöhnlich durch einen Feilstrich bezeichnet hat. Also dann nimmt man den zu bestimmenden Körper hinweg und legt statt dessen so viele Gewichte auf, bis das Instrument wieder zu dem bezeichneten Punkte einsinkt. Hat man z. B. anstatt des Minerals r Gewichtsstücke aufgelegt, so ist das absolute Gewicht desselben r. Nun legt man den zu bestimmenden Körper in ein Körbchen b, welches sich zwischen dem hohlen Körper und der Kugel befindet. Das Instrument müßte nun eigentlich wieder bis zu dem Feilstrich einsinken, da aber der Körper im Wasser am Gewicht verliert, so wird man noch s Gewichte, welche das verdrängte Volumen Wassers angeben, auflegen müssen, um das Instrument wieder bis zum Merkzeichen einsinken zu lassen. Das absolute Gewicht des Körpers m ist gleich r, das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser s; folglich ist das spec. Gewicht $x = \frac{r}{s}$.

Das spec. Gewicht der Flüssigkeiten.

Auch für die Bestimmung des spec. Gewichts der Flüssigkeiten würde man sich der Nichelson'schen Senkwage bedienen, jedoch würde diese etwas umständlich sein; man pflegt daher entweder für genaue Resultate das sogenannte Piknometer oder die Scalenaräometer zu benutzen.

Ein Piknometer ist ein Gläschen von halbkugeliger Form

Fig. 38.



mit enger Oeffnung *(Fig. 38)*, welche durch einen geriebenen Glasstöpsel aus einem Thermometerröhrchen verfertigt, verschlossen werden kann. Es faßt gewöhnlich 20 Gramme oder 1000 Gran und wird daher auch wohl 1000-Granfläschchen genannt.

Um ein solches Fläschchen zum Bestimmen des spec. Gewichts einer Flüssigkeit zu benutzen, nimmt man den Stöpsel ab, füllt dasselbe mittelst eines Trichters, nachdem es zuvor gereinigt, getrocknet und gewogen ist, mit destillirtem Wasser und entfernt durch vorsichtiges Klopfen des Glases die etwa vorhandenen Luftblasen, drückt rasch den Stöpsel ein und wägt nun nach sorgfältigem Abtrocknen des Fläschchens dasselbe wieder von Neuem. Nach Abzug des absoluten Gewichts des leeren Fläschchens von dem des gefüllten, erhält man genau das absolute Gewicht des Volumens destillirten Wassers.

Man entleert nun das Fläschchen, füllt es, nachdem es gehörig getrocknet, mit der zu bestimmenden Flüssigkeit und wägt abermals. Von dem so erhaltenen Gewicht zieht man das absolute Gewicht des leeren Fläschchens ab und erhält dadurch das Volumen der Flüssigkeit, welches man, um das spec. Gewicht der Flüssigkeit zu erfahren, durch das absolute Gewicht des destillirten Wassers dividiren muß, da sich jenes Gewicht zu diesem

verhalten wird, wie das spec. Gewicht des destillirten Wassers zu dem spec. Gewicht der zu bestimmenden Flüssigkeit.

Zur Erläuterung möge folgendes Beispiel dienen. Angenommen, das leere Fläschchen wiege 52,648 Gramme, das Fläschchen mit destillirtem Wasser 83,772 Gramme, mithin wird die Menge des destillirten Wassers 31,124 Gramm betragen. Wiegt nun das Fläschchen mit der zu bestimmenden Flüssigkeit z. B. mit irgend einem beliebigen Salzwasser, 84,586 Gramme, so wird die Menge des Salzwassers 31,938 Gramme betragen. Hieraus ergiebt sich also die Proportion 31,124 : 31,938 = 1000 (spec. Gewicht des Wassers) : x, oder $\frac{31,938 \,.\, 1000}{31,124} = 1,026$.

Das spec. Gewicht der zu bestimmenden Flüssigkeit ist also 1,026, wenn das des destillirten Wassers zu 1000 angenommen wird.

Liefert diese Methode auch sehr genaue Resultate, so führt sie doch einige Unannehmlichkeiten mit sich, namentlich, wenn man mit der Bestimmung des Gewichts einer concentrirten Säure oder einer ätzenden Säure zu thun hat; außerdem ist es im gewöhnlichen Leben oftmals erforderlich, das spec. Gewicht der Flüssigkeit auf eine schnelle und einfache Weise zu bestimmen. Hierzu bedient man sich, wenn eine solche Genauigkeit nicht erforderlich ist, und eine größere Menge der Flüssigkeit zu Gebote steht, der sogenannten Senkwagen oder Scalenaräometer. Dieselben stellen gewöhnlich eine cylindrische Glasröhre dar, welche mehr nach unten eine Erweiterung hat, und an dem unteren Ende eine mit Quecksilber gefüllte Kugel besitzt, damit die Röhre in der Flüssigkeit aufrecht schwimmt. *(Fig. 39.)*

Bisher wurde das spec. Gewicht aus der Vergleichung des absoluten Gewichts gleicher Volume abgeleitet; dem Gebrauche der Scalenaräometer liegt aber das Princip zu Grunde, daß bei gleichem

Fig. 39.



absoluten Gewicht die spec. Gewichte sich umgekehrt wie ihre Volume verhalten. Denkt man sich das bezeichnete Instrument in Wasser schwimmend, so muß das Gewicht des verdrängten Wassers dem Gewichte des Instruments entsprechen. Wird dasselbe nun in eine andere Flüssigkeit eingesenkt, so wird es natürlich, je nach dem die Flüssigkeit leichter oder schwerer als Wasser ist, vermittelst seines Gewichts mehr oder weniger die Flüssigkeit verdrängen, woraus sich auf die Dichtigkeit der Flüssigkeit schließen läßt. Nehmen wir z. B. an, das Aräometer wiege 15 Gramme, so wird es, indem es in Wasser schwimmt, 15 Cubikcentimeter Wasser verdrängen. Wird es nun aber z. B. in Weingeist eingesenkt, so wird es so weit einsinken, daß die verdrängte Weingeistmenge dem Gewichte der obigen entspricht. Da aber diese Gewichtssumme des Weingeistes einen größern Raum einnehmen wird, als die des Wassers, so muß natürlich das Instrument tiefer einsinken und zwar in der Weise, daß das in Weingeist eingesenkte Volum sich zu dem in Wasser eingesenkten umgekehrt verhält, wie die spec. Gewichte dieser Flüssigkeiten. Je geringer das spec. Gewicht der Flüssigkeiten ist, desto tiefer sinkt das Aräometer ein, je bedeutender aber das spec. Gewicht ist, desto weniger tief kann das Instrument einsinken, da, wie aus dem Obigen hervorgeht, das Volum einer Flüssigkeit von geringerem spec. Gewichte größer sein wird, und ebenso umgekehrt. Man kann daher, wenn man eine Glasröhre, wie die obige, mit einer zwischen zwei Punkten richtig eingetheilten Scala benutzt, sehr leicht das spec. Gewicht einer Flüssigkeit ablesen.

Soll eine solche Senkwage brauchbar gemacht werden, so ist vor Allem erforderlich, daß man einen Punkt notirt, bis zu welchem das Instrument in Wasser bei seiner großen Dichtigkeit einsinkt und dann wieder die Punkte bezeichnet, bis zu denen das

Instrument in die spec. schwerste und spec. leichteste der Flüssigkeiten, für welches es bestimmt ist, einsinkt. Da nun aber auf diese Weise sehr lange Scalen entstehen würden, und man auch für die spec. leichteren Flüssigkeiten eine bedeutende Menge nöthig hätte, so ist es für zweckmäßig erachtet worden, zum gewöhnlichen praktischen Gebrauch Senkwagen mit empirischer Scala für Flüssigkeiten, welche schwerer sind als Wasser und für solche, welche leichter sind, einzuführen, deren Anfertigung hier weiter besprochen werden soll.

Auf der Senkwage für leichtere Flüssigkeiten bezeichnet man den Wasserpunkt am unteren Ende der Röhre nahe an der Erweiterung desselben, bei den anderen dagegen nahe am oberen Ende der Röhre. Hierzu ist erforderlich, daß die Instrumente bis zu dem Punkte in Wasser einsinken, welches man durch die mehr oder minder große Menge Quecksilber bezweckt. Will man nun die Senkwage für schwerere Flüssigkeiten graduiren, so macht man sich ein Gemisch aus Wasser und einer Flüssigkeit, welche schwerer ist als dieses, taucht das Instrument hinein, beobachtet genau den Punkt, bis zu welchem es einsinkt und theilt den Raum zwischen diesem und dem Wasserpunkt genau in gleiche Theile, welches dann noch auf gleiche Weise unter diesem Punkte fortgesetzt wird. Die Theilung wird auf einem schmalen Streifchen Papier bemerkt und in die Röhre hineingeschoben.

Der zweite Punkt für die Scala, welche für leichtere Flüssigkeiten bestimmt ist, auf welcher sich also der Wasserpunkt an der Röhre befindet, wird gefunden, indem man sich ein Gemisch aus Wasser und einer leichteren Flüssigkeit bereitet, und nach oben hin eine gleiche Theilung vornimmt.

Am beliebtesten und am meisten eingeführt sind die Baume'schen Senkwagen für schwere und leichtere Flüssigkeiten. Um dieselben darzustellen, beschwerte Baumé das erstere so, daß es im

Wasser bis an das obere Ende der Röhre einsank und bezeichnete diesen Punkt *(Fig. 40 A)* mit o, alsdann senkte er das Instrument in eine Lösung von 15 Theilen Kochsalz in 85 Theilen Wasser, bezeichnete den Punkt, bis zu welchem es einsank, theilte den Zwischenraum zwischen diesem und jenem in 15 gleiche Theile und setzte die Theilung nach unten weiter fort. Das für leichtere Flüssigkeiten bestimmte Aräometer *(Fig. 40 B)* beschwerte er der Art, daß dasselbe in eine Auflösung von 1 Theil Kochsalz in 9 Theilen Wasser bis zum Anfange des Halses, nahe über der Erweiterung der Röhre, einsank, und bezeichnete diesen Punkt mit 0. Den Punkt, bis zu welchem es im Wasser einsank, bezeichnete er mit o und theilte den Zwischenraum in 10 gleiche Theile, während dann nach oben die Theilung in gleicher Weise fortgesetzt wurde. Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, daß die Vermehrung der Grade bei der Senkwage für leichtere Flüssigkeiten die Verminderung spec. Gewichte anzeigt, während bei den anderen die Vermehrung der Grade die Verminderung des spec. Gewichts angiebt. Jedoch ist es nicht der Fall, daß, wie man leicht glauben könnte, eine gleiche Anzahl von Graden einem gleichem Unterschiede der spec. Gewichte entspricht; ein gleicher Unterschied im spec. Gewicht am Halse des Instruments macht sich nämlich um so mehr bemerkbar, je größer das eingesunkene Volum ist. Es sind daher Tabellen erforderlich, die den Graden der Senkwage entsprechende spec. Gewichte angeben. (S. nachfolgende Tabellen). —

Fig. 40. A.

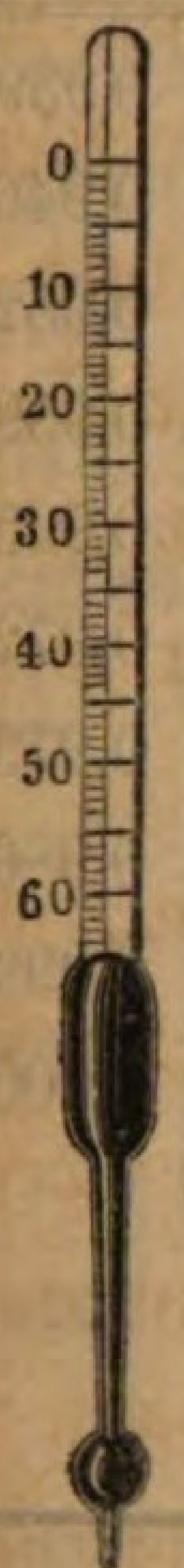


Fig. 40 B.



A. Für Flüssigkeiten leichter als Wasser.

Gr.	Spec. Gewicht.	Gr.	Spec. Gewicht.	Gr.	Spec. Gewicht.	Gr.	Spec. Gewicht.	Gr.	Spec. Gewicht.
62	0,7251	51	0,7733	40	0,8233	29	0,8804	19	0,9399
61	0,7314	50	0,7777	39	0,8281	28	0,8860	18	0,9462
60	0,7354	49	0,7821	38	0,8329	27	0,8917	17	0,9526
59	0,7394	48	0,7866	37	0,8378	26	0,8974	16	0,9591
58	0,7435	47	0,7911	36	0,8428	25	0,9032	15	0,9657
57	0,7476	46	0,7956	35	0,8479	24	0,9091	14	0,9724
56	0,7518	45	0,8001	34	0,8531	23	0,9151	13	0,9792
55	0,7560	44	0,8047	33	0,8584	22	0,9212	12	0,9861
54	0,7603	43	0,8093	32	0,8638	21	0,9274	11	0,9930
53	0,7646	42	0,8139	31	0,8693	20	0,9336	10	1,0000
52	0,7689	41	0,8186	30	0,8748				

B. Für Flüssigkeiten schwerer als Wasser.

Gr.	Spec. Gewicht.	Gr.	Spec. Gewicht.	Gr.	Spec. Gewicht.	Gr.	Spec. Gewicht.	Gr.	Spec. Gewicht.
0	1,0000	16	1,1240	32	1,2838	48	1,4942	64	1,7858
1	1,0070	17	1,1326	33	1,2954	49	1,5096	65	1,8082
2	1,0141	18	1,1414	34	1,3071	50	1,5253	66	1,8312
3	1,0213	19	1,1504	35	1,3190	51	1,5413	67	1,8548
4	1,0286	20	1,1596	36	1,3311	52	1,5576	68	1,8790
5	1,0366	21	1,1690	37	1,3434	53	1,5742	69	1,9038
6	1,0435	22	1,1785	38	1,3559	54	1,5912	70	1,9291
7	1,0511	23	1,1882	39	1,3686	55	1,6086	71	1,9548
8	1,0588	24	1,1981	40	1,3815	56	1,6264	72	1,9809
9	1,0666	25	1,2082	41	1,3947	57	1,6446	73	2,0073
10	1,0745	26	1,2184	42	1,4082	58	1,6632	74	2,0340
11	1,0825	27	1,2288	43	1,4219	59	1,6823	75	2,0610
12	1,0906	28	1,2394	44	1,4359	60	1,7019		
13	1,0988	29	1,2502	45	1,4501	61	1,7220		
14	1,1071	30	1,2612	46	1,4645	62	1,7427		
15	1,1155	31	1,2724	47	1,4792	63	1,7640		

Der zehnte Grad der Senkwage für leichte Flüssigkeiten entspricht dem spec. Gewicht von 1,000; der zwanzigste Grad dem von 0,933 Grad. Einfacher und bequemer als diese Senkwagen mit empirischer Scala ist der Gebrauch der Senkwage mit rationeller Scala, da man auf derselben keine Grade notirt, sondern das spec. Gewicht selbst abzulesen hat, und also keiner Tabellen bedarf. Für solche Flüssigkeiten, welche leichter als Wasser sind, ist zwar eine Senkwage ausreichend, jedoch für schwerere Flüssigkeiten sind deren mehrere nöthig. Um eine solche Senkwage für leichtere Flüssigkeiten *(Fig. 41.)* anzufertigen, belastet man das Instrument der Art,



daß dasselbe bei gewöhnlicher Temperatur bis zum Anfange des Halses der Röhre einsinkt, und bezeichnet diesen Punkt mit 1,000. Der Punkt, bis zu welchem es dann in einer Flüssigkeit einsinkt, wird z. B. mit 0,800 bezeichnet und auf den Zwischenraum werden nun die auf obige Weise gefundenen spec. Gewichte aufgetragen. Obgleich man so das spec. Gewicht direkt finden kann, so möchten die übrigen Senkwagen dennoch einen Vorzug haben, da die Scalen sich auf leichtere Weise richtig anfertigen lassen, wenn auch immerhin die für die Senkwage mit empirischer Scala erforderlichen Tabellen den Gebrauch ein wenig umständlich machen.

Wenn man eine kleine Berechnung nicht scheut, so ist allen anderen die Senkwage von Gay-Lussac (auch Volumeter genannt) vorzuziehen. Bei diesem Instrument bezeichnet man den Punkt, bis zu welchem es in Wasser einsinkt, mit 100 und zählt die Theilung, welche ganz genau in gleichen Zwischenräumen geschehen muß, von unten nach oben. Sinkt nun die Senkwage in eine verdünnte Salzsäure bis zum Theilstrich 90 ein, so ergiebt sich daraus, daß 90 Volumtheile dieser

verdünnten Säure am Gewicht 100 Volumtheile Wassers entsprechen. Demnach verhält sich also das spec. Gewicht dieser Flüssigkeit wie 100 zu 90, mithin ist das spec. Gewicht der Säure $\frac{100}{90}$ oder 1,111. Daraus geht hervor, daß man das spec. Gewicht einer Flüssigkeit findet, wenn man den zu beobachteten Scalenpunkt r in 100 dividirt.

Sehr häufig kommt es darauf an, daß man den Concentrationsgrad einer Flüssigkeit z. B. einer Salzlösung oder den Gehalt einer Lösung kennen lerne. Da nun dieser mit dem spec. Gewicht in genauer Beziehung steht, und man aus demselben auf den Gehalt der Flüssigkeit schließen kann, so hat man mit Hülfe des bestimmten spec. Gewichts Instrumente construirt, welche die verschiedenen Concentrationsgrade angeben. Ein solches Instrument ist das allgemein bekannte und sehr häufig gebrauchte Alkoholometer, welches den Inhalt an Weingeist einer aus Wasser und Weingeist bestehenden Mischung angiebt.

Zum Alkoholometer wählt man eine eben solche Röhre, wie zu den übrigen Senkwagen und bezeichnet auf derselben statt der spec. Gewichte den denselben entsprechenden Gehalt in Procenten. Bezeichnet man auf einer solchen Röhre die Punkte, welche den spec. Gewichten von dem des absoluten Alkohols, 0,793, an bis zum Wasser = 1 entsprechen, und bezeichnet dieselben mit 100, 90, 80 .... 10, 0, so hat man, den Raum zwischen diesen Zahlen in immer 10 gleiche Theile getheilt, ein Procent-Aräometer für Weingeist, an welchem man die gefundenen Volum-Procente Alkohol in einer Mischung von Weingeist und Wasser ablesen kann. Hierbei ist 100 dem spec. Gewichte des absoluten Alkohols und 0 dem des Wassers gleich gesetzt. *(Fig. 42.)* Diese Senkwage ist nur für Alkohol gebräuchlich und es ist daher unerläßlich nothwendig, daß man für andere Flüssigkeiten sich wieder besondere Senkwagen construire. Schließlich mag noch einmal

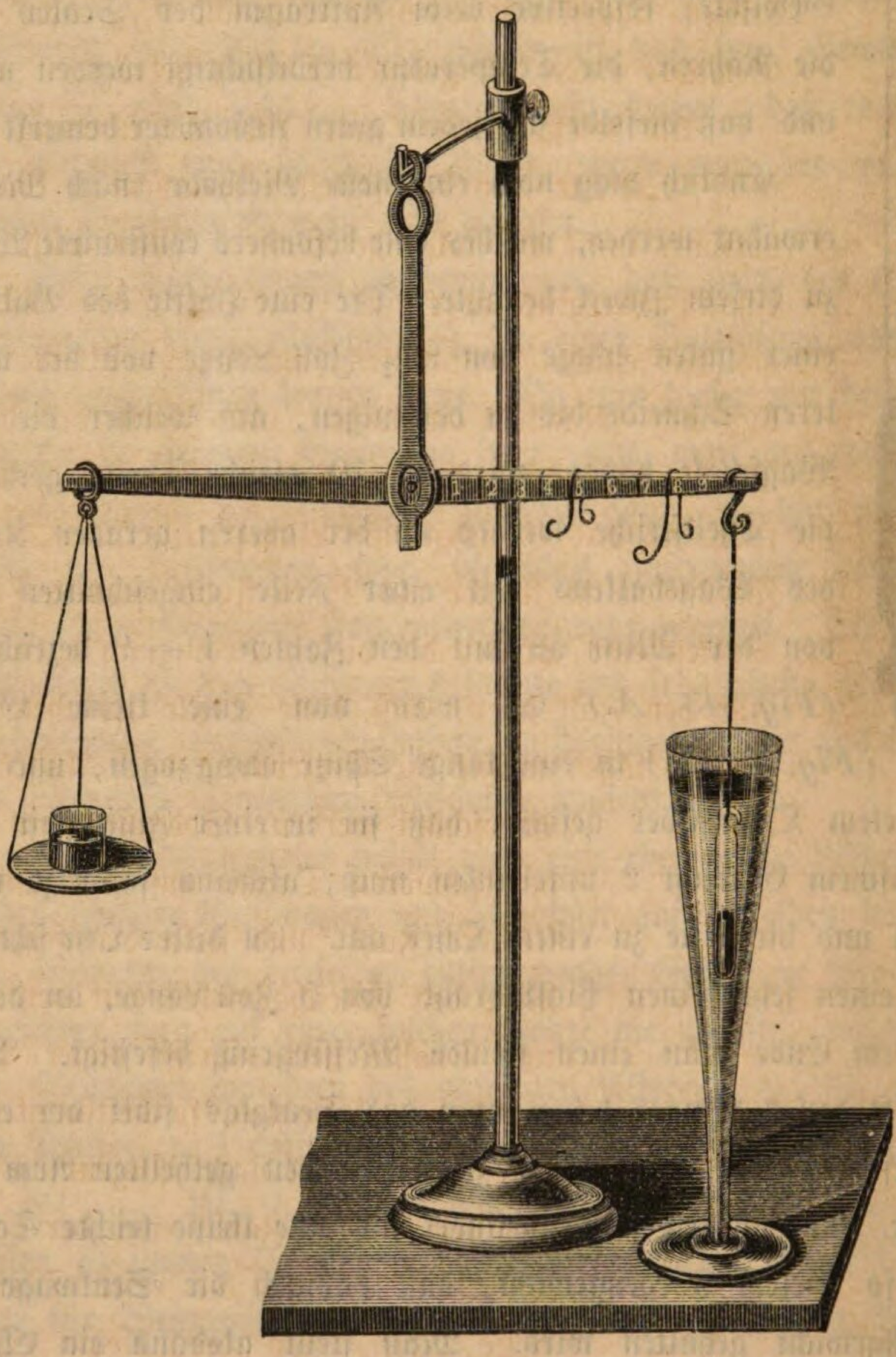
Fig. 42.



hervorgehoben werden, daß bei Bestimmung der spec. Gewichte, respective beim Auftragen der Scalen auf die Röhren, die Temperatur berücksichtigt werden muß, und daß dieselbe auf jedem guten Aräometer bemerkt ist.

Endlich mag noch eine neue Methode (nach Mohr) erwähnt werden, welcher eine besonders construirte Wage zu diesem Zweck benutzte. Die eine Hälfte des Balkens einer guten Wage von $9\frac{1}{2}$ Zoll Länge von der mittleren Schneide bis zu derjenigen, auf welcher die eine Wagschale hängt, wird in 10 gleiche Theile getheilt; die Theilstriche werden an der oberen geraden Kante des Wagebalkens mit einer Feile eingeschnitten und von der Mitte an mit den Zahlen 1 — 9 bezeichnet. *(Fig. 43. A.)* Es wird nun eine kleine Glasröhre *(Fig. 43. B.)* in eine lange Spitze ausgezogen, und mit so vielem Quecksilber gefüllt, daß sie in einer Flüssigkeit von specifischem Gewicht 2 untersinken muß; alsdann schmelzt man sie zu und biegt sie zu einem Ohre um. In dieses Ohr schlingt man einen sehr feinen Platindraht von 5 Zoll Länge, an dessen anderem Ende man einen kleinen Messingring befestigt. Vermittelst dieses Ringes hängt man das Senkglas statt der einen Wageschale (wie *Fig. 43 C* zeigt) an den getheilten Arm der Wage. Am andern Arme befindet sich eine kleine leichte Schale mit so vielem Gegengewicht, daß dadurch die Senkwage im Gleichgewicht gehalten wird. Man stellt alsdann ein Champagnerglas mit destillirtem Wasser von der richtigen Temperatur unter die Wage, hängt ein in stumpfem Winkel gebogenes Stück Messingdraht an den Haken, an welchem das Senkgläschen befestigt ist. Alsdann macht man durch Feilen dieses Drahtstück genau so schwer, daß das Gleichgewicht wieder hergestellt wird, welches durch das Hineintauchen des Gläschens in

Fig. 43. A.



das Wasser gestört worden war. Der genau abnormirte Messingdraht hat nun das Gewicht des durch das Senkgläschen verdrängten Wassers. Derselbe wird in einen etwas spitzeren Winkel als vorher gebogen und oben in seiner Biegung mit einem glatten Hammer platt und scharf geschlagen, damit er mit Schärfe in die Einschnitte des Wagebalkens einspielt. Als-

Fig. 43. B.



dann werden zwei solcher Drähte und dann noch ein dritter angefertigt, dessen Gewicht $^1/_{10}$ von dem Gewichte eines der größten Drähte beträgt.

Um diese Wage nun zur Bestimmung der spec. Gewichte von Flüssigkeiten benutzen zu können, verfährt man auf folgende Weise. Man füllt das Champagnerglas oder eine Glasröhre (*Fig. 43 C.*) bis zu einem bestimmten markirten Striche an, läßt das Gläschen eintauchen, und schiebt den dicken Draht so lange auf den Balken mit einer Pincette fort, bis das Gleichgewicht eingetreten ist. Ist das spec. Gewicht kleiner als 1, so findet man auf dem Balken eine Stelle, die dieser Bedingung entspricht. Für den Fall aber, daß diese Stelle zwischen zwei Zahlen läge, müßte die Entfernung nach Augenmaß abgeschätzt werden. Sodann hängt man den schweren Draht auf die zunächst kleinere Zahl, und stellt den fehlenden Rest des Gleichgewichts mit dem kleinen Drahte her. Trifft dieser Punkt zwischen zwei Zahlen, so bestimmt man die Dimension nach Augenmaß auf Zehntel. Die Zahl, wo der große Draht hängt, ist die erste Decimalstelle, die, wo der kleine Draht hängt, die zweite, und wenn dieser zwischen zwei Zahlen hängt, so ist die nächste Zahl nach der Mitte die zweite Decimale, und die in Zehnteln geschätzte Entfernung von dieser Zahl an die dritte Decimalstelle. In *Fig. 43 A.* zeigen die beiden Drähte das spec. Gewicht 0,850 an. In *Fig. 43 C.* zeigen die nebenstehenden Zahlen die spec. Gewichte an, die auf dem Wage-

Fig. 43 C.

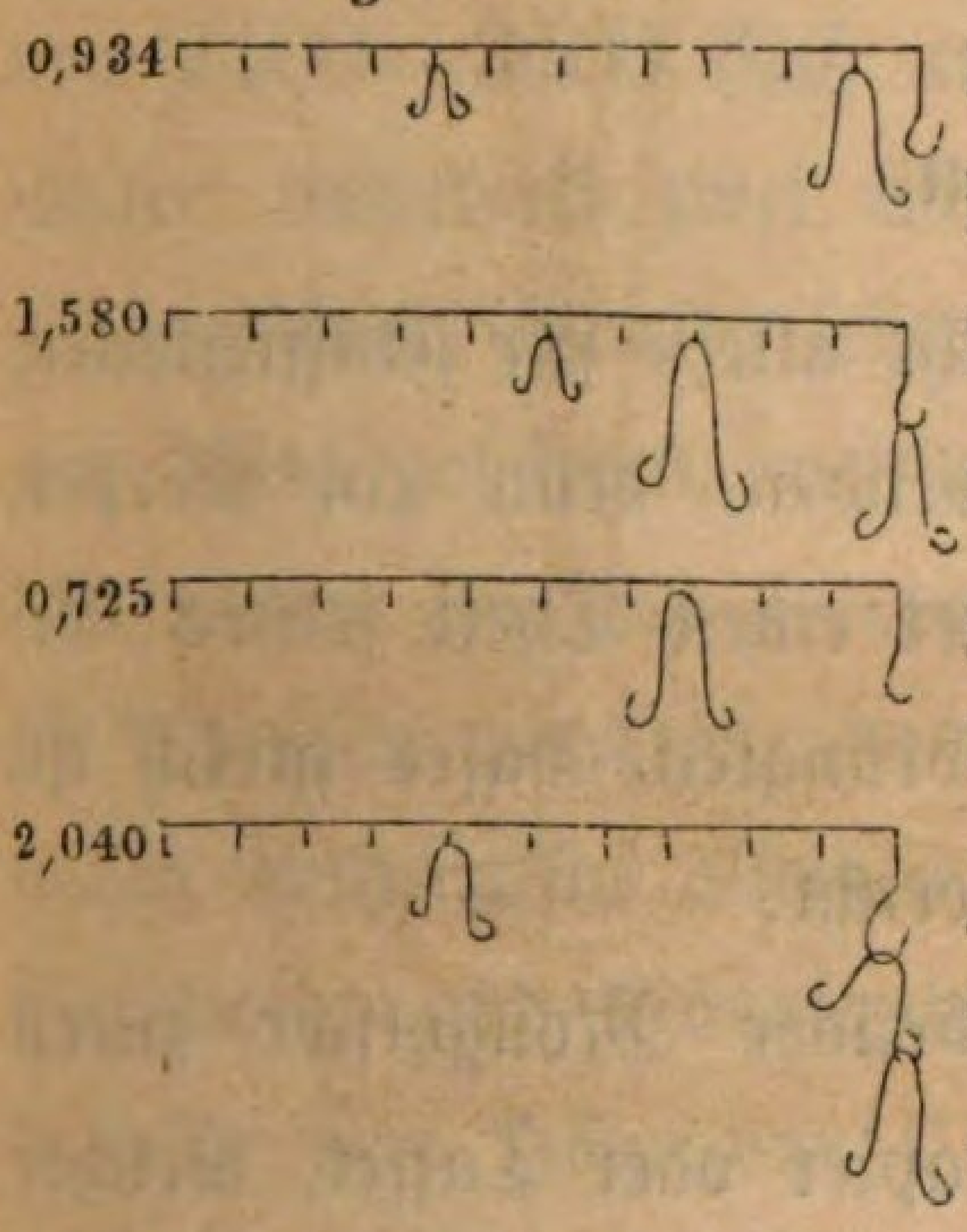
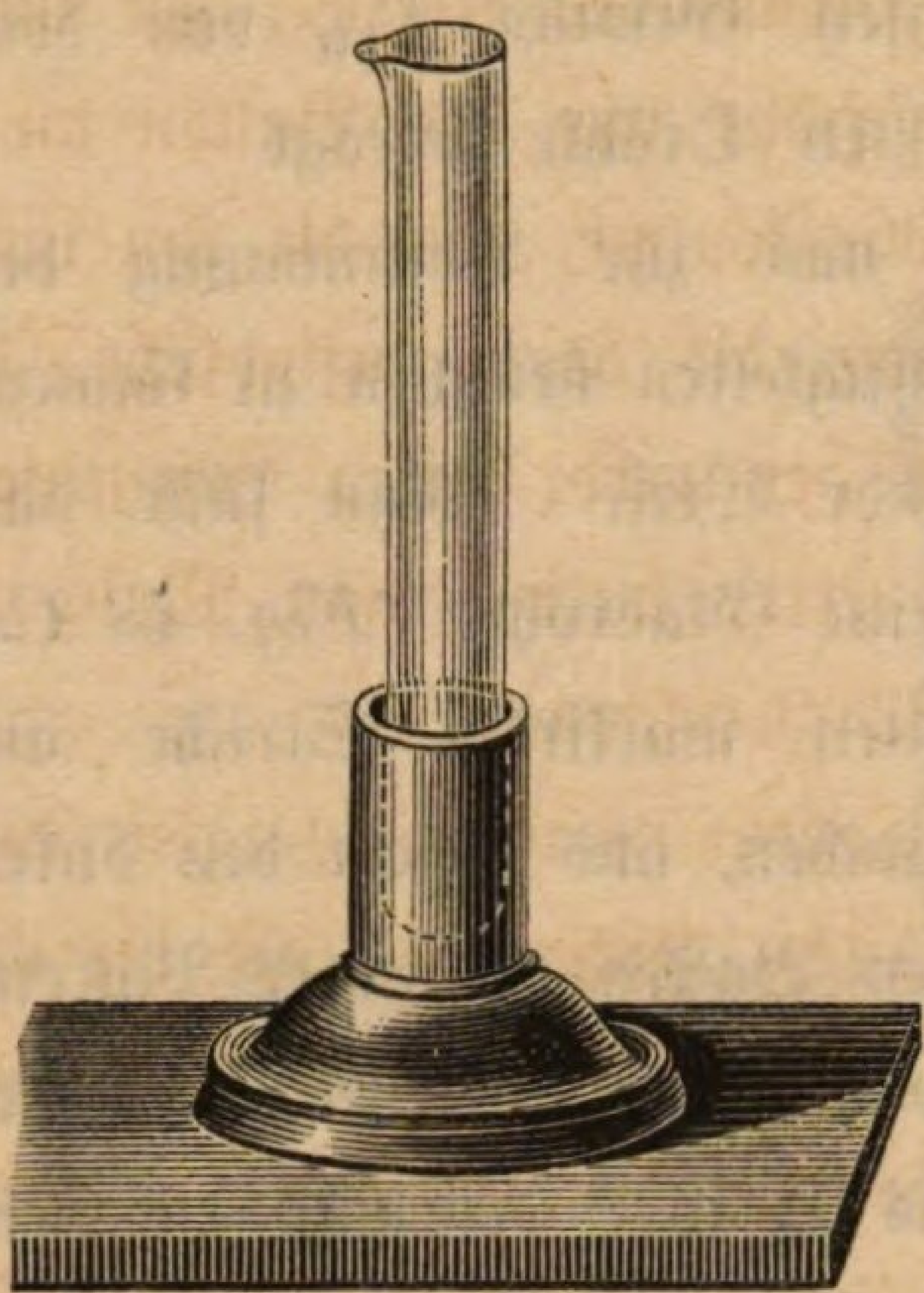


Fig. 43 D.



balken bei der jedesmaligen Lage der Drähte sich ergaben. Wenn das spec. Gewicht größer als 1 und kleiner als 2 ist, so hängt man einen der schweren Drähte auf die Zahl 10, d. h. an den Haken der Schneide, worauf das Senkgläschen hängt. Der zweite dicke Draht giebt, wie oben, die erste Decimalstelle, der kleine die zweite und dritte. Die Wägungen gehen sehr rasch vor sich, und die Genauigkeit der Methode wird durch die Dünnheit des Platindraths bedingt.

(Ueber die Bestimmung des spec. Gewichts der Gase und Dämpfe siehe unter dem Artikel „Wärme.")

Der Luftballon.

Das Archimedi'sche Gesetz gilt nicht allein für Flüssigkeiten, sondern läßt sich auch auf Gase anwenden, denn ein Körper, welcher in Gas eingetaucht ist, verliert einen Theil seines Gewichts, welches dem Volumen des verdrängten Gases gleich ist, worauf das Steigen des Luftballons beruht.

Bekanntlich construirten die Gebrüder Mongolfier zuerst einen großen Ballon von gefirnißtem Papier oder Taffet, welcher unten eine Oeffnung von einigen Quadratfußen hat. In einiger Entfernung unter dieser Oeffnung war ein Korb von Metalldraht angehängt, welcher brennenden Stoff enthielt, durch dessen Verbrennung eine Menge warmer leichter Luft gebildet wird, welche aufsteigt und den ganzen Ballon anfüllt. Sobald nun die warme Luft im Ballon sammt der Hülle und Allem, was darin ist und

daran hängt, leichter ist, als die verdrängte Luftmenge, so muß der Ballon steigen; er nimmt den brennenden Körper, der ihm die Steigkraft verleiht, mit in die Höhe und der Ballon muß so lange steigen, bis er in eine Höhe kommt, wo die ihn umgebende Luft ebenso verdünnt ist, wie die darin befindliche, so daß das Gewicht des Ballons dem der verdrängten Luftmenge gleich ist. Der erste Ballon dieser Art, welche man Mongolfieren nennt, stieg den 5. Juni 1783 zu Anonay.

Im Jahre 1766 hatte schon Cavendish die Leichtigkeit des Wasserstoffgases, welches ungefähr 14½ leichter ist, als die atmosphärische Luft, bekannt gemacht. Dieses Gas benutzte der bekannte Physiker Charles, anstatt der warmen Luft, um mit demselben Ballons zu füllen und diese in die Höhe steigen zu lassen. Er unternahm eine Luftreise mit einem Ballon, welcher 500 Cubikmeter Wasserstoffgas faßt, die eine Last von 604 Kilogramm haben können; er erreichte mit demselben binnen einigen Minuten eine Höhe von 2400—3000 Fuß und legte in diesen Regionen der Atmosphäre innerhalb zwei Stunden einen Weg von 5 Meilen zurück. Später fand Charles sehr viele Nachahmer, wozu auch Gay-Lussac und Biot gehörten, welche im Jahre 1804 Luftreisen zu wissenschaftlichen Zwecken unternahmen. Bei der ersten Fahrt erreichten die Physiker die Höhe von 4000 Metern, die zweite Fahrt unternahm Gay-Lussac allein und erreichte eine Höhe von 7000 Metern. Humboldt und Bonpland erreichten bei ihrer Fahrt am Chimborasso eine Höhe von 6100 Meter.

Bei dieser Höhe wurde eine empfindliche Kälte gefühlt; denn das Thermometer zeigte —10°, während am Boden 30° Wärme waren. — Gay-Lussac hatte bei einer Fahrt von sechs Stunden einen Weg von 15 Meilen zurückgelegt.

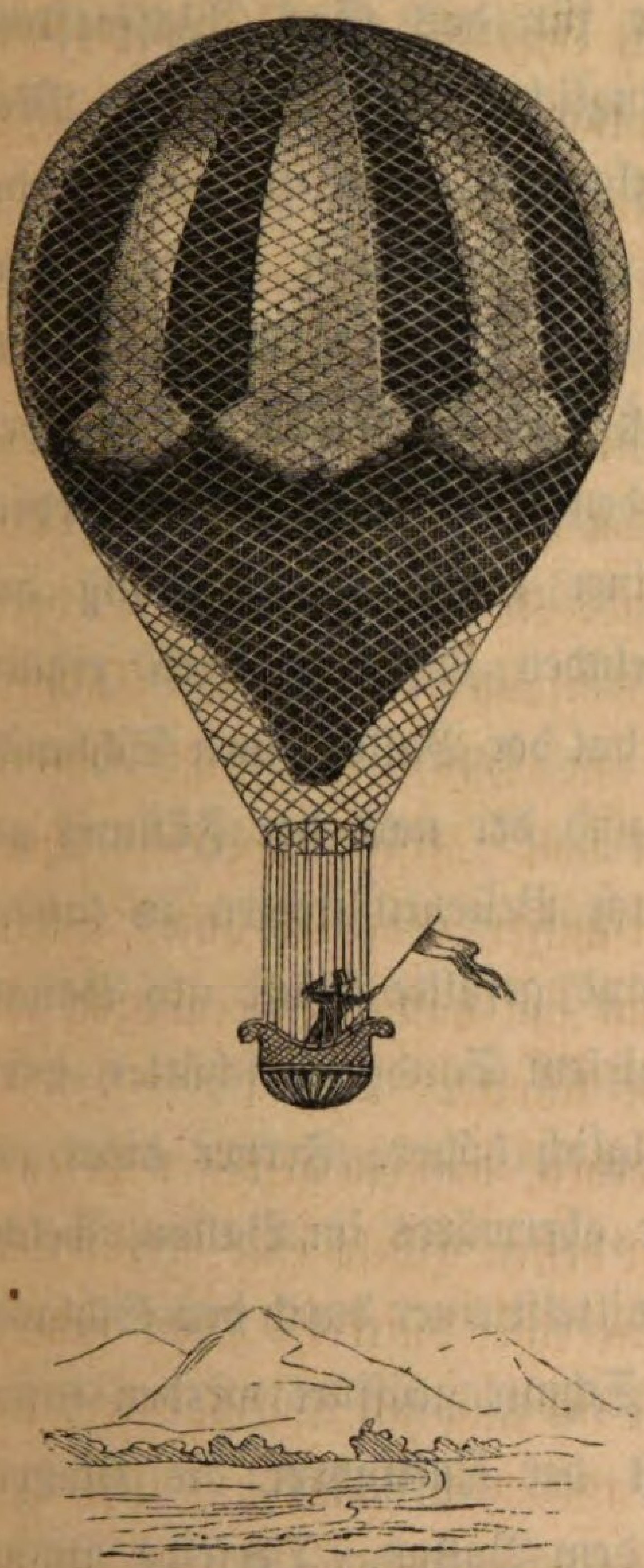
Später haben sich manche Luftschiffer in die Luft erhoben, wenn auch unter diesen Einige oder Manche unglückliche Fahrten

machten. Besonders verdient die Luftreise des Luftschiffers Green Erwähnung; derselbe stieg mit noch zwei Gefährten den 7. Nov. 1836 in London auf, und sein Ballon war mit dem viel wohlfeileren, aber nicht so leichten Kohlengase (Leuchtgase) gefüllt. Die Landung der Reisenden erfolgte bei Weilburg im Nassauischen, nachdem sie 90 deutsche Meilen in 19 Stunden zurückgelegt hatten. Später wurden bei den Luftreisen Segel- und Fallschirme angewendet. Wir erwähnen nur noch Gybson's und Arban's mißglückte Fahrten, Coxwell's und Keller's Luftreisen, deren Ballon 65 Fuß Höhe, 125 Fuß Umfang und 35,000 Cubikfuß Raumgehalt hatte. Derselbe war mit 25,000 Cubikfuß Leuchtgas gefüllt. Durch eine große Anzahl von Luftschifffahrten zeichnete sich in der neuesten Zeit der Luftschiffer Godard aus, welcher in die Seine fiel, aus welcher man ihn halbtodt herauszog und der später bei Boulogne ins Meer stürzte.

Endlich kann noch erwähnt werden, daß ein gewisser Peten in Paris einen Apparat vorschlug, mit dessen Hülfe eine beträchtliche Anzahl von Personen gleichzeitig an einer Luftreise Theil nehmen können. Vier große Ballons, jeder 90 Fuß im Durchmesser, sind durch ein ungeheures Gerüst von 450 Fuß Länge und 195 Fuß Breite mit einander verbunden. Mitten auf diesem Apparat finden sich vier Fallschirmen ähnliche Vorrichtungen und durch Segel, sowie eine Art Steuerruder soll dem Ballon eine beliebige Richtung gegeben werden können; jedoch scheint es bis jetzt bei dem Vorschlage geblieben zu sein. *(Fig. 44.)*

Anfertigung des Luftballons. Um eine Montgolfiere, d. h. einen mittelst erwärmter Luft gefüllten Ballon mittelst verdünnter Luft im Kleinen herzustellen, nimmt man sechs Bogen feines Seidenpapier, beschneidet sie durchaus winkelrecht und gleich groß und theilt sie dann, der Breite nach, jeden in zwei gleiche Theile; die einen sechs auf diese Weise

Fig. 44.



erhaltenen Blätter schneidet man in Gestalt eines abgestumpften sphärischen Dreiecks, dessen Grundlinie die Breite des halben Bogens, die obere Linie aber etwa eine Breite von 2 Zoll erhält, zu. Die anderen sechs Blätter schneidet man nach der Form der unteren Hälfte aus, so daß die untere Linie eine Länge von 9 Zoll hat, und klebt dann zuerst je zwei und zwei Stück zu einem Segment, und dann die sechs Segmente unter sich, Alles mit gehörigem Farbenwechsel, zusammen, wodurch man einen sphärischen, oben und unten offenen Ballon erhält. Oben, wo die Segmente 2 Zoll breit sind, schließt man das Ganze mit einer übergeklebten Kappe, unten aber klebt man einen 15—16 Zoll im Durchmesser haltenden Reif von Draht oder gespaltenem spanischen Rohr an, wodurch der Ballon seine feste Form erhält. In dem Reife zieht man ein Kreuz aus zwei feinen Drähten b und c, an die Kappe klebt man einen Faden zum Halten an, und kann allenfalls unterhalb des Ringes noch einen aus einem 2 Zoll breiten Papierstreifen bestehenden Hals ankleben. Um ihn mit erwärmter Luft zu versehen, befestigt man in den Knoten in Spiritus getauchte Baumwolle, welche man anzündet.

Die größeren Charlièren werden aus leichtem seidenen

Zeuge, wohl auch aus Baumwolle verfertigt, welche man mit einem Firniß überstreicht, um sie für das Gas (Wasserstoffgas oder Leuchtgas) undurchdringlicher zu machen. Man giebt den Ballons immer die Kugelgestalt, weil sie so bei der möglichst kleinsten Oberfläche den größten Inhalt haben. Der Ball wird mit einem Netz von seidenen Schnüren überzogen und an dieses die Gondel befestigt, so daß auch die Seiten der Gondel, welche sehr leicht sein müssen, von den Schnüren umgeben werden, damit der Luftfahrer nicht bei einer plötzlichen Wendung des Ballons, die er durch die wechselnden Luftströmungen erhält, herausgeworfen werde. Unterwärts hat der Ballon einen Schlauch, durch welchen er mit Gas gefüllt und der nach der Füllung geschlossen wird. Um den Ballon nach Belieben steigen zu lassen, nimmt man in die Gondel mit Sand gefüllte Säcke als Ballast mit. Sowie der Luftschiffer von diesem Sande ausschüttet, wird der Ballon erleichtert und steigt folglich höher. Ferner dient zur Lenkung der Charlièren eine Klappe oberwärts im Ballon, welche für gewöhnlich geschlossen ist, aber mittelst einer durch den Schlauch des Balls in die Gondel reichenden Schnur geöffnet werden kann. Soll der Ballon sinken, so öffnet der Luftfahrer die Klappe, alsbald entweicht einiges Gas aus dem Ballon. Derselbe nimmt einen kleineren Raum ein, verdrängt folglich einen geringern Theil der Atmosphäre aus der Stelle, und da er selbst an Schwere verhältnißmäßig wenig verloren hat, so sinkt er herab. Je höher der Ballon aufsteigt, desto geringer wird der Druck gegen seine Wände, desto mehr dehnt sich folglich das Innere des Ballons aus und der Luftfahrer muß endlich die Klappe öffnen, wenn der Ball nicht zerplatzen soll; jedoch haben diese Mittel den Uebelstand, daß durch jedes Oeffnen der Klappe und Auswerfen des Ballasts ein Verlust erlitten wird.

Sollen die Ballons mit Wasserstoffgas gefüllt werden, so

nimmt man gewöhnlich auf 1 Cubikfuß Gas im Mittel, 4 Unzen Eisenfeile, 6 Unzen Vitriolöl und 18 Unzen Wasser, oder 6 Unzen Zink, ebensoviel Vitriolöl und 30 Unzen Wasser.

Bei der Füllung eines Ballons mit Steinkohlengas ist zu berücksichtigen, daß dieses ungefähr $^1/_4$ so viel wiegt wie ein gleiches Volumen Luft.

Da ein Luftballon sich nur dann erhebt, wenn sein Gewicht kleiner ist, als ein dem seinigen gleiches Volumen atmosphärischer Luft, so lassen sich auch nicht aus jeder Substanz Bälle von beliebiger Größe anfertigen. Die Inhalte verschiedener Kugeln verhalten sich wie die Kugel der Durchmesser; die Oberflächen nur wie die Quadrate der Durchmesser. Die Oberfläche einer Kugel nimmt also bei Weitem nicht in dem Maße mit dem Radius zu, wie der Cubikinhalt. Da nun der Ueberschuß des Gewichts zwischen dem des ganzen Ballons und dem eines gleich großen Volumens Luft angiebt, welche Grenze des Gewichts die Masse des Ballons und Alles, was er an Last zu tragen hat, noch nicht erreichen darf, wenn der Ballon steigen soll, so ergiebt sich hieraus: erstens, daß bezüglich eines jeden zu wählenden Stoffs ein gewisser Durchmesser des Ballons der möglichst kleinste ist, nämlich der, bei welchem das Gewicht des nöthigen Stoffs noch eben kleiner als jene Differenz ist, und zweitens, daß jeder Ballon, aus welchem Stoff er auch bestehen mag, eine um so größere Last in die Höhe zu heben vermag, je größer sein Durchmesser ist.

Um kleine Ballons, welche man im Zimmer steigen lassen will, mit Wasserstoffgas zu füllen, benutzt man gewöhnlich Goldschlägerhaut oder Collodium. Die erstere ist die Oberhaut vom Blinddarm eines Rindes, letzteres wird dargestellt, indem man Schießbaumwolle in alkoholhaltigem Aether auflöst. Man gießt dann von dieser Auflösung etwas in eine bauchige Flasche, schwenkt dieselbe hin und her, so daß die ganze innere Fläche

mit Collodium überzogen wird, und trocknet diese dünne Lage dann schnell durch Erneuerung von Luft mittelst eines Blasebalgs, worauf man den innern Ueberzug von den Glaswänden vorsichtig ablöst. — Ein kleiner Ballon aus Goldschlägerhaut wog zusammengedrückt, d. h. leer ungefähr 5 Gran. Er faßte 33 Cubikzoll Wasserstoffgas, welche einen Gran wiegen. Das Gewicht des Ballons und des Wasserstoffgases zusammen betrug daher 6 Gran. Ein dem Volumen des Ballons gleiches Volumen Luft wiegt ungefähr $12\frac{1}{2}$ Gran, so daß die Steigkraft dieses Ballons durch $12\frac{1}{2}$ minus 6, also durch $6\frac{1}{2}$ Gran ausgedrückt werden konnte.

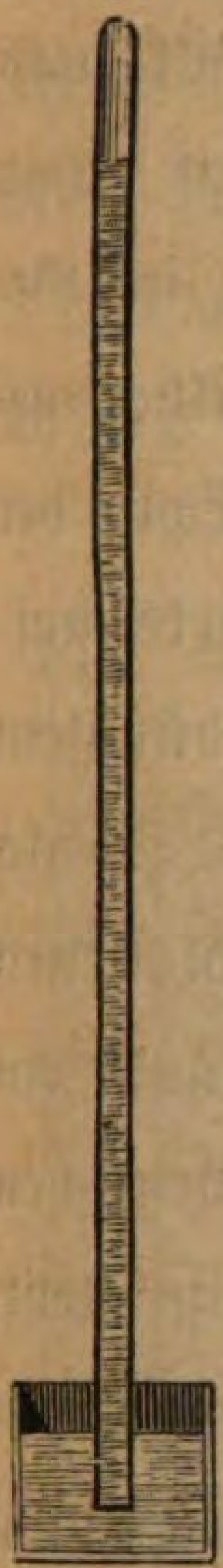
Vom Druck der Luft.

Die atmosphärische Luft ist die bei Weitem verbreitetste und bekannteste aller Luftarten und da die mechanischen Eigenschaften der luftförmigen Körper bei allen dieselben sind, so können diese aus denen der atmosphärischen Luft abgeleitet werden. Alle luftförmigen Körper haben mit den flüssigen die Schwere und die leichte Verschiebbarkeit ihrer Theile gemein, unterscheiden sich aber von jenen dadurch, daß sie sich leichter zusammenpressen lassen und bei nachlassendem Druck sich wieder ausdehnen, während die Flüssigen sich nur sehr schwer wieder zusammenpressen lassen.

Die Schwere der Luft wurde jedoch erst 1640 durch Galiläi und etwas später durch Torricelli's schöne Versuche dargethan. Da aber die Luft schwer ist, so muß sie auch einen Druck auf die in ihr befindlichen Körper ausüben; und zwar ist dieser so bedeutend, daß er auf einen Quadratzoll an der Meeresfläche 16 Zollpfund beträgt, und daß ein völlig ausgewachsener Mensch, wenn seine ganze Oberfläche frei der atmosphärischen Luft ausgesetzt ist, eine Last von 33,000 ℔ zu ertragen hat. Um die Schwere der Luft darzuthun, bedient man sich einer Luftpumpe, welche weiter unten Besprechung findet. Um den Druck

der Luft nachzuweisen, kann man eben dasselbe Instrument anwenden. Um aber den Druck zu messen, kann man folgenden Versuch anstellen, welcher zuerst von Toricelli ausgeführt wurde. Man nimmt eine 30 Zoll lange Glasröhre, *(Fig. 44)* welche

Fig. 44.



an dem einen Ende verschlossen ist, füllt dieselbe mit Quecksilber, hält das offene Ende mit dem Finger zu und kehrt die Röhre um. Man taucht nun das mit dem Finger verschlossene Ende in ein Gefäß mit Quecksilber, zieht den Finger alsdann weg; es wird dann das Quecksilber alsbald um einige Zoll fallen, und zwar so weit, daß die Erhebung des Quecksilbers über den Spiegel des Quecksilbers des Gefäßes so groß ist, wie dieselbe das Gleichgewicht dem äußern Druck der Luft zu halten vermag. Wenn nun der Druck der atmosphärischen Luft einer Wassersäule von 32 Fuß das Gleichgewicht zu halten vermag, so wird die Quecksilbersäule 28 Zoll betragen; denn Wasser ist fast 14mal leichter, als die atmosphärische Luft und $\frac{32}{14}$ Fuß ist gleich 28 Zoll. Der leere Raum, welcher sich über dem Quecksilber befindet, ist die Torricellische Leere genannt. Nimmt man das Quecksilber in dem unteren Gefäß weg, oder läßt man oben in die Röhre Luft hineintreten, so wird das Quecksilber fallen.

Das Barometer.

Der Torricellische Versuch führt zu einer ungefähren Bestimmung des Drucks der Luft, und man hat in Folge dessen ein Instrument construirt, welches allgemein als Barometer oder Schwermesser bekannt ist. Die Formen desselben sind je nach dem Gebrauch verschieden, aber welche man auch wählen mag, so müssen doch gewisse Bedingungen stets erfüllt sein: 1) muß

das Quecksilber, welches benutzt wird, vollkommen rein sein, da das unreine Quecksilber am Glase anhängt und die Dichtigkeit desselben mit seiner Reinheit sich ändert. Das Quecksilber des Handels besitzt aber gewöhnlich nicht die gehörige Reinheit; man reinigt es daher am besten dadurch, daß man es mit reiner, aber stark verdünnter Salpetersäure wiederholt schüttelt. Will man auf diesem Wege alle Unreinigkeiten entfernen, so muß man das Quecksilber mehrere Wochen lang mit der Säure in Berührung lassen. Hat man dann die Säure vom Quecksilber getrennt, so muß man dasselbe auswaschen, damit auch keine Spur der Säure überbleibe. — Das destillirte Quecksilber enthält stets aufgelöstes Quecksilberoxyd, welches durch Schütteln mit verdünntem Schwefelammonium weggeschafft werden kann; 2) ist eine Scala erforderlich, welche die Höhe des Quecksilbers im verschlossenen Schenkel mißt. Gewöhnlich pflegt neben der Quecksilbersäule ein Maßstab angebracht zu sein, welcher mit einem beweglichen Zeiger versehen ist, der mit einem Nonius in Verbindung steht. Dieser Zeiger wird in die Höhe der zu beobachtenden Quecksilberkuppe gerückt und dann der Nonius abgelesen. Mitunter ist die Theilung auf dem Barometerohre selbst eingeätzt oder man hat die Theilung gerade hinter das Ohr gebracht, so daß das beobachtende Auge die Quecksilberkuppe gerade vor der Theilung erblickt. — In Deutschland theilt man die Röhre gewöhnlich in Pariser Zolle oder auch in Millimeter (1 Millimeter = 0,443,295 Pariser Linien). 3) der Raum über der Quecksilbersäule muß vollkommen luftleer sein, denn wenn Luft in diesem Raume zurückbliebe oder Dämpfe sich darin befänden, so würde ihre Spannung die Quecksilbersäule niederdrücken. Um diesen Zweck zu erreichen, wird das Quecksilber in der Röhre auf folgende Weise ausgekocht: man füllt $1/3$ der Röhrenlänge mit Quecksilber an und kocht es seiner ganzen Ausdehnung nach über einem Kohlenfeuer; alsdann gießt man eine

neue Portion hinzu, welches aber etwas warm sein muß, damit die Röhre nicht springt und kocht die neu hinzugekommene Quecksilbersäule auf dieselbe Weise u. s. f., bis fast die ganze Röhre so behandelt worden ist, und gießt zuletzt noch etwas heißes Quecksilber auf, um die Röhre vollständig zu füllen. Durch diese letztere Operation wird sowohl die Luft, als auch die Feuchtigkeit, welche an den Röhren anhaftet, entfernt.

Das gewöhnliche Barometer *(Fig. 45)* besteht aus einer Röhre, welche unten gekrümmt ist, mit einem weiteren Gefäß endigt und auf einem Brett befestigt ist. Die Höhe der Scala ist in der Regel von Metall. Ist das Gefäß etwas weit, im Vergleich zu dem Durchmesser der Röhre, so sind die Schwankungen der Säule fast ohne Einfluß auf die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäß, so daß, wenn keine große Genauigkeit gefordert wird, dieser Spiegel als bleibend betrachtet werden kann. Bei diesen Barometern, welche zu genauen Untersuchungen nicht tauglich sind, befindet sich gewöhnlich die Scala auch nur am obern Theile des Instruments.

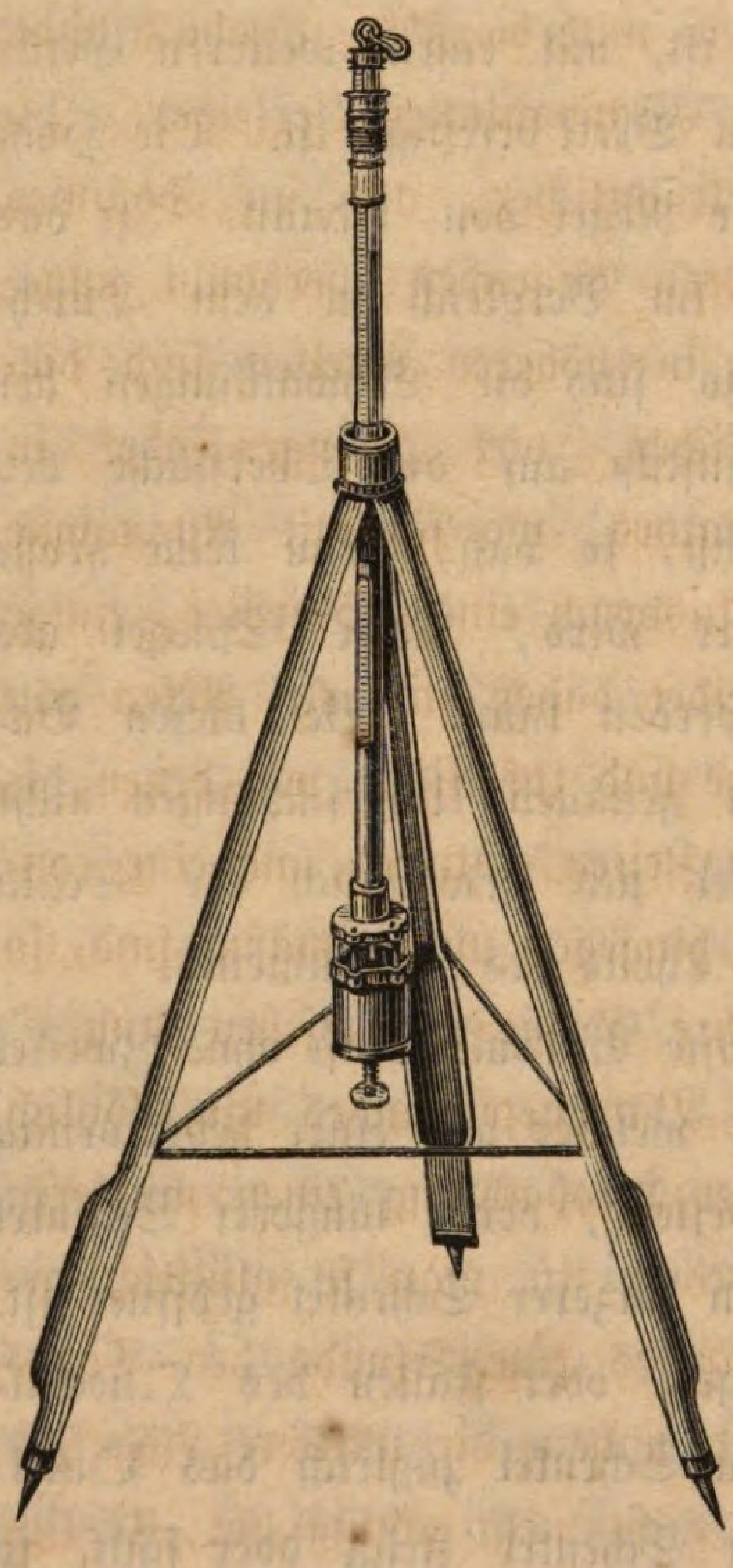
Fig. 45.



Das vollkommenste Barometer ist ohne Zweifel das Heberbarometer, welches aus einer heberförmig gekrümmten Röhre besteht, deren längerer Schenkel verschlossen und deren kürzerer Schenkel geöffnet ist. Da bei jedem Steigen oder Fallen des Quecksilbers im verschlossenen Schenkel zugleich das Quecksilber im geöffneten Schenkel steigt oder fällt, so muß hier die Scala sich längs der Röhre verschieben lassen. Man stellt nun bei jeder Beobachtung zunächst die Scala so, daß der Nullpunkt derselben mit dem Quecksilber im offenen Schenkel gleiche Höhe hat, und sieht dann zu, bis zu

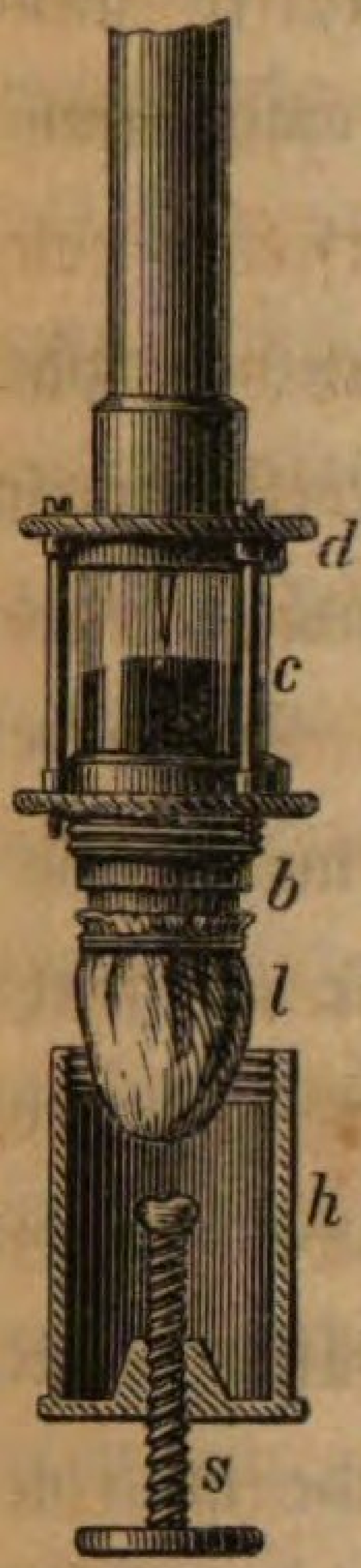
welchem Punkt der Scala das Quecksilber im verschlossenen Schenkel reicht. Da der Luftdruck sich in horizontaler Linie gleichmäßig fortpflanzt, so muß derselbe in unsern Zimmern, überhaupt in allen luftdicht verschlossenen Räumen derselbe, wie im Freien sein; es ist daher ganz gleichgültig, ob man das Barometer im Zimmer oder im Freien aufhängt. Zu erwähnen ist ferner das Fortin'sche Barometer *(Fig. 46 a)*, ein Gefäßbarometer,

Fig. 46 a.



welches dadurch ausgezeichnet ist, daß das Quecksilber im Gefäß eine constante Kuppe hat. Der Boden des Gefäßes ist nämlich durch einen Lederbeutel l *(Fig. 46 b)* gebildet, gegen welchen von unten auf eine Schraube s drückt. Je nachdem man die Schraube s dreht, wird der Quecksilberspiegel im Gefäß gehoben oder gesenkt. Von dem Deckel des Gefäßes aber geht ein unten zugespitzter Stift von Elfenbein herab, welcher sich auf der glänzenden Oberfläche des Quecksilbers spiegelt. Durch Drehen der Schraube s ist es nun leicht, die Oberfläche des Quecksilbers genau mit der Spitze des Stiftes in Berührung zu bringen; es ist dies nämlich der Fall, wenn die Spitze des Stiftes und die Spitze seines Bildes in Berührung sind. Diese Spitze ist der Nullpunkt der Barometerscala. Das Barometerrohr ist von einem Metallrohr umgeben, in dessen oberem Theil

Fig. 46. b



zwei Spalten einander gegenüber stehend angebracht sind, durch welche man die Quecksilberkuppe sehen kann. Auf diesem Metallrohr ist auch die Theilung angebracht, deren Nullpunkt der richtig eingestellte Spiegel des Quecksilbers im Gefäß ist.

Schwankungen des Barometerstandes. Der Luftdruck an ein und demselben Orte unserer Erde ist nicht beständig derselbe, sondern fortwährenden Veränderungen unterworfen, weshalb das Barometer beständig Schwankungen erleidet. Im Winter sind diese beträchtlicher, als im Sommer und betragen in unseren Gegenden überhaupt ungefähr 2 Pariser Zoll; in höheren Breiten sind dieselben noch beträchtlicher, viel geringer aber in der Nähe des Aequators, wo sie mit Ausnahme weniger Fälle, z. B. vor dem Ausbruch eines Sturmes, einige Linien umfassen. Man unterscheidet daher zweierlei Arten von Schwankungen, nämlich periodische und zufällige, von denen die ersteren regelmäßig zu bestimmten Zeiten eintreten und eine constante Größe haben; die letzteren hingegen unregelmäßig sind, so daß man weder ihre Zeit noch ihre Größe voraussehen kann.

Da die Veränderungen des Barometerstandes nie plötzlich sind, so erhält man bei stündlicher Beobachtung einen mittleren Barometerstand des Tages. Jedoch ist man so glücklich gewesen, ausfindig zu machen, daß es eine Stunde des Tages giebt, zu welcher das Barometer nahezu die mittlere Höhe erreicht hat, so daß man demnach nicht mehr nöthig hat, täglich 24 Beobachtungen zu machen, sondern nur eine einzige um Mittag, welche die gesuchte mittlere Höhe angiebt. Setzt man die Beobachtungen einen Monat lang fort, nimmt alsdann das Mittel aus diesen 30 Beobachtungen, so erhält man die monat-

liche Höhe des Barometerstandes. Hat man in dieser Weise die mittlere Höhe der 12 Monate eines Jahrs bestimmt, so giebt das Mittel aus diesen 12 Höhen den mittleren Barometerstand des Jahres.

Barometrische Höhenmessung. Ein ganz vorzügliches Instrument ist das Barometer für die Bestimmung der Höhenunterschiede zweier Orte durch entsprechende Barometer-Beobachtung. Ein bestimmtes Gesetz (von Mariotte) lehrt, daß das Volumen der Gase, überhaupt luftförmiger Körper sich umgekehrt verhält, wie der Druck, dem sie ausgesetzt sind, mithin muß auch der Druck der Luft mit der Höhe abnehmen, also auch das Barometer fallen, wenn man in die Höhe steigt, und zwar um die Länge einer Quecksilbersäule, welche ebensoviel wiegt, als die Luftsäule, um welche man gestiegen ist. Da nun die Luft bei 0° Wärme und bei einem Barometerstande von 28 Pariser Zoll ungefähr 10,500 mal leichter ist, als Quecksilber, so wird man nun 10,500 Linien oder ungefähr 73 Fuß steigen müssen, damit das Quecksilber im Barometer um eine Linie fällt, und umgekehrt wird man, wenn an einem Orte a das Barometer auf 28 Zoll und an einem Orte b zu derselben Zeit nur auf 27 Zoll 11 Linien steht, hieraus schließen, daß b um 73 Fuß höher liegt, als a. Da aber zufolge des oben ausgesprochenen Gesetzes die Dichtigkeit der Luft mit der Höhe abnimmt, so wird das Barometer natürlich nicht in demselben Verhältniß fallen, wie man höher steigt. So wird man z. B., wenn man zu einer Höhe gelangt, in welcher das Barometer auf 14 Zoll steht, die Dichtigkeit der Luft also nur noch halb so groß ist, offenbar um 2mal 73 = 146 Fuß steigen müssen, damit das Barometer um eine Linie fällt.

Soll nun mit Leichtigkeit aus den Barometerständen, welche man zu gleicher Zeit an zwei Standpunkten beobachtet hat, den

Höhenunterschied dieser beiden Standpunkte ableiten, hat man besondere Tabellen berechnet, welche jedem neueren logarithmischen Handbuche beigefügt sind. Es mag daher nur bemerkt werden, daß die unmittelbar beobachteten Barometerstände einer Correction bedürfen, welche von der Temperatur des Quecksilbers abhängt. Außerdem hat man aber auch die Temperatur der Luft zu berücksichtigen, da ja bekanntlich die Luft durch die Wärme ausgedehnt wird, und daher das Gewicht der Luftschicht zwischen beiden Standpunkten wesentlich von der Temperatur abhängt. Gewöhnlich fehlen nun aber die Beobachtungen der Temperatur an den zwischenliegenden Punkten und man muß sich darauf beschränken, die an beiden Punkten beobachtete Lufttemperatur in arithmetischem Mittel anzunehmen, eine Annahme, welche nur dann für streng richtig gelten kann, wenn die Lufttemperatur mit der Höhe wirklich gleichmäßig abnimmt, was jedoch durchaus nicht der Fall ist, indem gar nicht selten wärmere und kältere Luftschichten in verschiedenen Höhen mit einander abwechseln. Ferner ist der Feuchtigkeitsgehalt der Luft in Rechnung zu bringen. Auch die Luftströmungen, resp. Winde veranlassen, daß das Barometer an zwei gleich hoch liegenden Orten, welche in horizontaler Richtung von einander entfernt sind, einen verschiedenen Stand hat, so begreift man wohl leicht, daß man, um zuverlässige Resultate zu erhalten, den Punkt, dessen Höhe man sucht, mit einem nicht allzu entfernten Standpunkte von bekannter Höhe vergleichen muß. Sehr windige Tage und solche, an denen das Barometer unregelmäßigen Schwankungen unterworfen ist, sind von den Beobachtungen, welche zu Höhenmessungen dienen sollen, ganz auszuschließen.

Wird der Höhenunterschied zweier Orte unter übrigens günstigen Umständen aus einem einzigen Paar correspondirender Beobachtungen hergeleitet, so wird aus einem Höhenunterschied von 1000

Fuß die Abweichung von der Wahrheit etwa 5—10 Fuß betragen können. Liegen zwei Orte mehrere Meilen auseinander, so steht das Barometer an demjenigen, von welchem der Wind herweht, etwas zu hoch; an demjenigen, nach welchem der Wind hinweht, etwas zu niedrig, da er natürlich den Luftströmungen nach der Seite immer folgen muß, wo der geringere Luftdruck stattfindet. Weht daher der Wind von dem höher gelegenen Orte, so wird man die Höhe dieses Orts etwas zu gering, im umgekehrten Falle etwas zu groß finden.

Die nachstehende Tabelle liefert in der zweiten Spalte die ungefähre Höhe in Pariser Fußen, bis zu welcher man steigen muß, damit das Barometer den in Pariser Zollen bezeichneten Stand der ersten Spalte zeigt, wenn die Temperatur der Luft gleich 0^0 angenommen wird. Die dritte Spalte aber giebt an, um wie viel Fuß man in der jedesmaligen Höhe steigen muß, damit das Barometer 1 Zoll fallen muß.

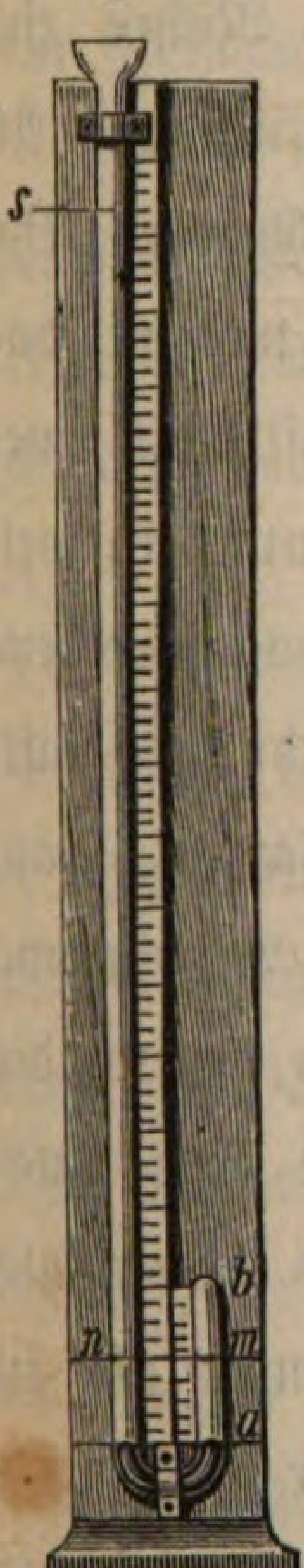
Barometer in Par. Zollen.	Höhe in Par. Fußen.	Differenz.
28″	0′	890′
27	890	930
26	1820	970
25	2790	1000
24	3790	1050
23	4840	1090
22	5930	1140
21	7070	1200
20	8270	1260
19	9530	1330
18	10860	1410
17	12270	1490
16	13760	1590
15	15350	1700
14	17050	1820
13	18870	1980
12	20850	2140
11	22990	2340
10	25330	

Mariotte's Gesetz.

Das schon erwähnte Mariotte'sche Gesetz läßt sich in folgender Weise ausdrücken: das Volumen der Gase oder luftförmigen Körper verhält sich umgekehrt, wie der Druck, dem sie ausgesetzt sind.

Um dieses Grundgesetz durch einen Versuch darzuthun, kann man sich einer gekrümmten cylindrischen Röhre bedienen, deren kürzerer Schenkel oben geschlossen ist, während der längere Schenkel offen bleibt. Gießt man nun zu Anfang ein wenig Quecksilber hinein und neigt dann den Schenkel etwas, damit etwas Luft aus dem kürzeren Schenkel entweicht, so läßt es sich leicht erreichen, daß das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch steht. — Die in dem Raume r s *(Fig. 48)* abgesperrte Luft ist genau dem Druck der Luft ausgesetzt; gießt man nun von Neuem Quecksilber in den offenen Schenkel, so wird der Druck, den die eingeschlossene Luft auszuhalten hat, vermehrt, d. h. sie wird dadurch auf einen kleineren Raum zusammengepreßt.

Fig. 48.



Ist das Quecksilber in dem kürzern Schenkel bis zum Punkte m gestiegen, welcher sich in der Mitte zwischen r und s befindet, so ist die Luft auf die Hälfte ihres vorigen Volumens zusammengepreßt; bezeichnet man nun auf dem längeren Schenkel den Punkt n, welcher mit m gleiche Höhe hat, und mißt man dann, wie hoch das Quecksilber sich im längern Schenkel noch über n erhebt, so findet man, daß die Höhe der Quecksilbersäule n o genau der Barometerhöhe gleich ist; die in s m eingeschlossene Luft hat demnach einen Druck von zwei Atmosphären auszuhalten. — Ist der offene Schenkel dieses Apparats lang genug, so kann man auf

7*

dieselbe Weise zeigen, daß ein Druck von 34 Atmosphären die eingeschlossene Luft auf 1/3 oder 1/4 ihres ursprünglichen Volumens zusammenpreßt.

Auf diese Weise findet man, daß überhaupt der Raum, welchen die abgesperrte Luft einnimmt, in demselben Verhältniß abnimmt, in welchem die drückende Kraft zunimmt und daß also die Dichtigkeit der Luft in gleichem Verhältniß mit ihrer Elasticität wächst. Dieses Gesetz, welches man für die atmosphärische Luft bis zur 27fachen Verdichtung nachgewiesen hat, gilt auch für andere Gasarten, welche bei starkem Druck innerhalb engerer Grenzen flüssig werden. Soll das Gesetz für verdünnte Luft nachgewiesen werden, so taucht man eine beiderseits offene Röhre in ein hohes Gefäß mit Quecksilber; es wird dann das Quecksilber in der Röhre ebenso hoch, als im Gefäß stehen, und dieses wird alsdann noch stattfinden, wenn die Röhre am oberen Ende luftdicht verschlossen wird. Demnach hält die in der Röhre eingeschlossene Luft vermöge ihrer Elasticität dem Druck der Atmosphäre, d. h. einer Quecksilbersäule von der Höhe des Barometerstandes, für welchen wir 28 Zoll annehmen wollen, das Gleichgewicht. Ueberhaupt findet man, daß die Elasticität einer abgesperrten Luftmasse in demselben Verhältniß abnimmt, in welchem sich dieselbe ausdehnt, oder dünner wird; das ausgesprochene Gesetz gilt mithin sowohl für verdichtete als für verdünnte Luft.

Das Gesagte bezieht sich nun ferner auch darauf, daß, wenn zwei mit Luft gefüllte Räume mit einander in Verbindung stehen, das Gleichgewicht nur dann stattfinden kann, wenn die Luft in beiden dieselbe Dichtigkeit hat; nur würde eine Ausnahme stattfinden, wenn der eine Raum bedeutend höher als der andere gelegen, oder die Luft in dem einen wärmer als in dem andern wäre. — Bei verschiedener Dichtigkeit der Luft wird in beiden Räumen eine Strömung stattfinden, d. h. es wird die

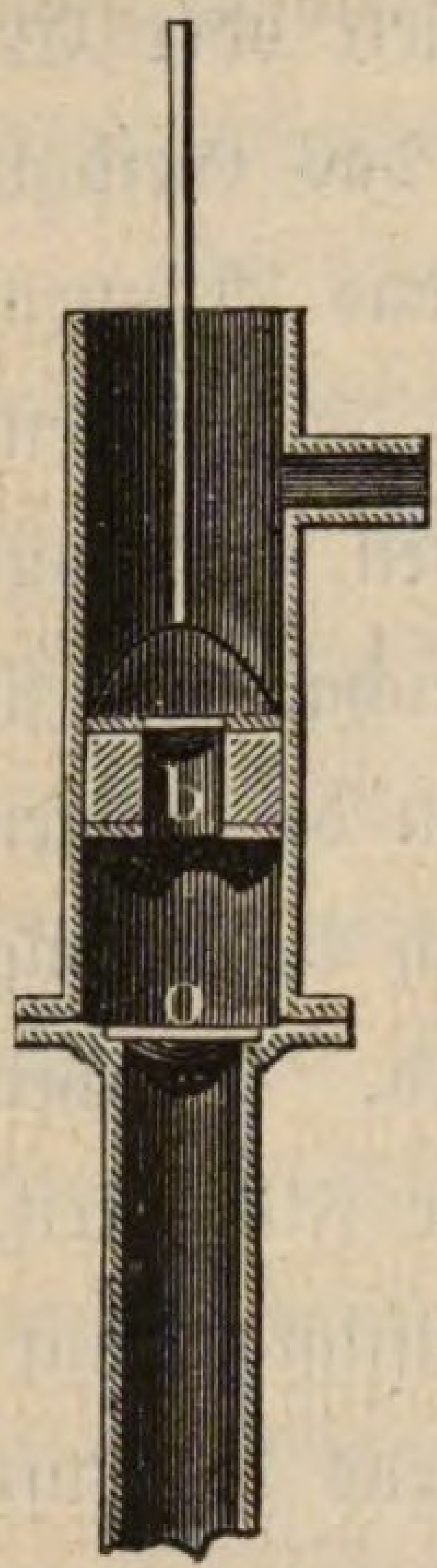
dichtere Luft in den Raum einströmen, in welchem weniger dichte Luft enthalten ist. Nehmen wir einige Beispiele oder Erscheinungen aus dem gewöhnlichen Leben, so wird das Gesagte ebenfalls zur Erklärung derselben dienen, z. B. das Athmen. Sowie nämlich durch Ausdehnung des Brustkastens die Lungensäcke sich erweitern und also die Luft in denselben verdünnt wird, so vermag sie nicht mehr der äußern das Gleichgewicht zu halten, und diese muß folglich durch die Luftröhre in die Lungen einströmen; das Gegentheil findet Statt, wenn durch Verengung des Brustkastens die Luft in den Lungen verdichtet wird. Tauchen wir ferner das eine Ende eines Röhrchens in eine Flüssigkeit, und nehmen das andere in den Mund, um die Flüssigkeit aufzusaugen, so wird durch Erweiterung des Brustkastens die Luft in den Lungen, im Munde und in dem Röhrchen sich verdünnen; sie wird wegen des überwiegenden Drucks der äußeren Luft in dem Röhrchen in die Höhe steigen.

Nicht allein aber solche Erscheinungen der Wahrheiten des Mariotte'schen Gesetzes, sondern auch mancherlei im gewöhnlichen Leben gebräuchliche Instrumente gründen sich auf dieselbe, wie uns aus der Beschreibung derselben klarer werden wird.

Die Saugpumpe.

Dies bekannte Instrument, *(Fig. 49.)* welches fast überall in Anwendung kommt, ist der Hauptsache nach ein Cylinder, Stiefel genannt, in welchem sich ein Kolben auf- und niederbewegt; mit dem Cylinder ist eine Saugröhre verbunden, welche vom Boden des Stiefels in das zu hebende Wasser reicht; zwischen der Saugröhre und dem Stiefel befindet sich ein Ventil, welches sich nur nach oben öffnet; ein anderes Ventil ist unten im Kolben angebracht. Wird nun der Kolben in die Höhe gezogen, so öffnet sich das Ventil der Saugröhre, während sich das Ventil

Fig. 49.

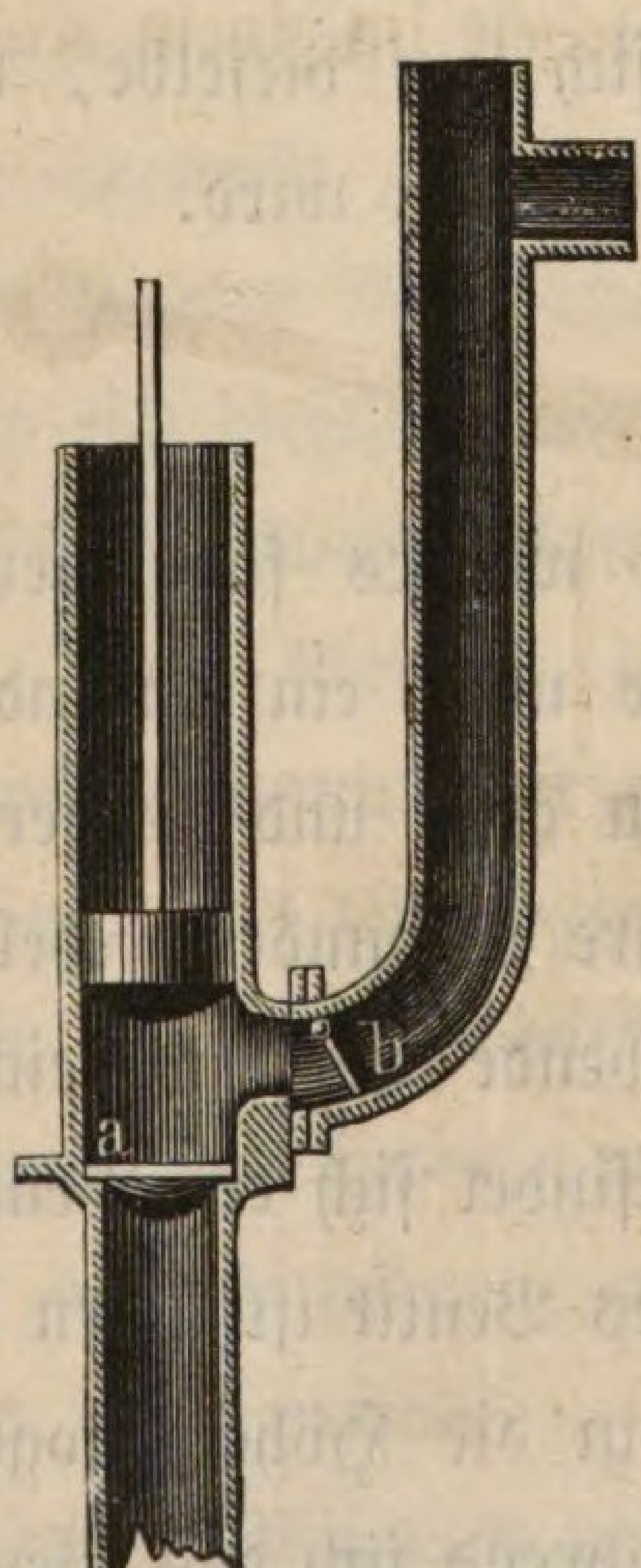


des Kolbens schließt, und die Luft sowohl im Stiefel, als auch in der Saugröhre verdünnt wird; sie wird aber beim Niedergange des Kolbens in der Saugröhre nicht wieder verdichtet, indem sich das Ventil der Saugröhre schließt und das andere öffnet. Je nachdem nun bei abwechselndem Auf- und Niedergange des Kolbens die Luft in der Röhre verdünnt wird, um so höher wird das Wasser in derselben durch den äußern Luftdruck empor getrieben, bis es in dem Stiefel über das Ventil der Saugröhre, beim Niedergange des Kolbens auch über das Ventil desselben tritt und endlich beim Aufsteigen des Kolbens bis zu der Ausgußröhre gehoben wird.

Die Druckpumpe

(Fig. 50.) ist der Saugpumpe ähnlich eingerichtet, unterscheidet sich aber von dieser dadurch, daß mit derselben nahe am Boden eine aufwärts gehende Röhre, die Steigröhre, verbunden ist, an deren Mündung sich in dem Stiefel ein in die Steigröhre sich öffnendes Ventil befindet, während der Kolben eines solchen entbehrt. Ist dann das Wasser durch das Ventil der Saugröhre in den Stiefel getreten, so wird es beim Niedergange des Kolbens in der Steigröhre, indem sich a schließt und b öffnet, emporgetrieben.

Fig. 50.



Aus früher Gesagtem ergiebt sich, daß eine Wassersäule nur etwa 33 Fuß das Gleich-

gewicht zu halten vermag; es darf daher die Saugröhre zwischen dem Wasserspiegel und dem Bodenventile diese Länge nicht erreichen.

Der Heronsball.

Fig. 51.

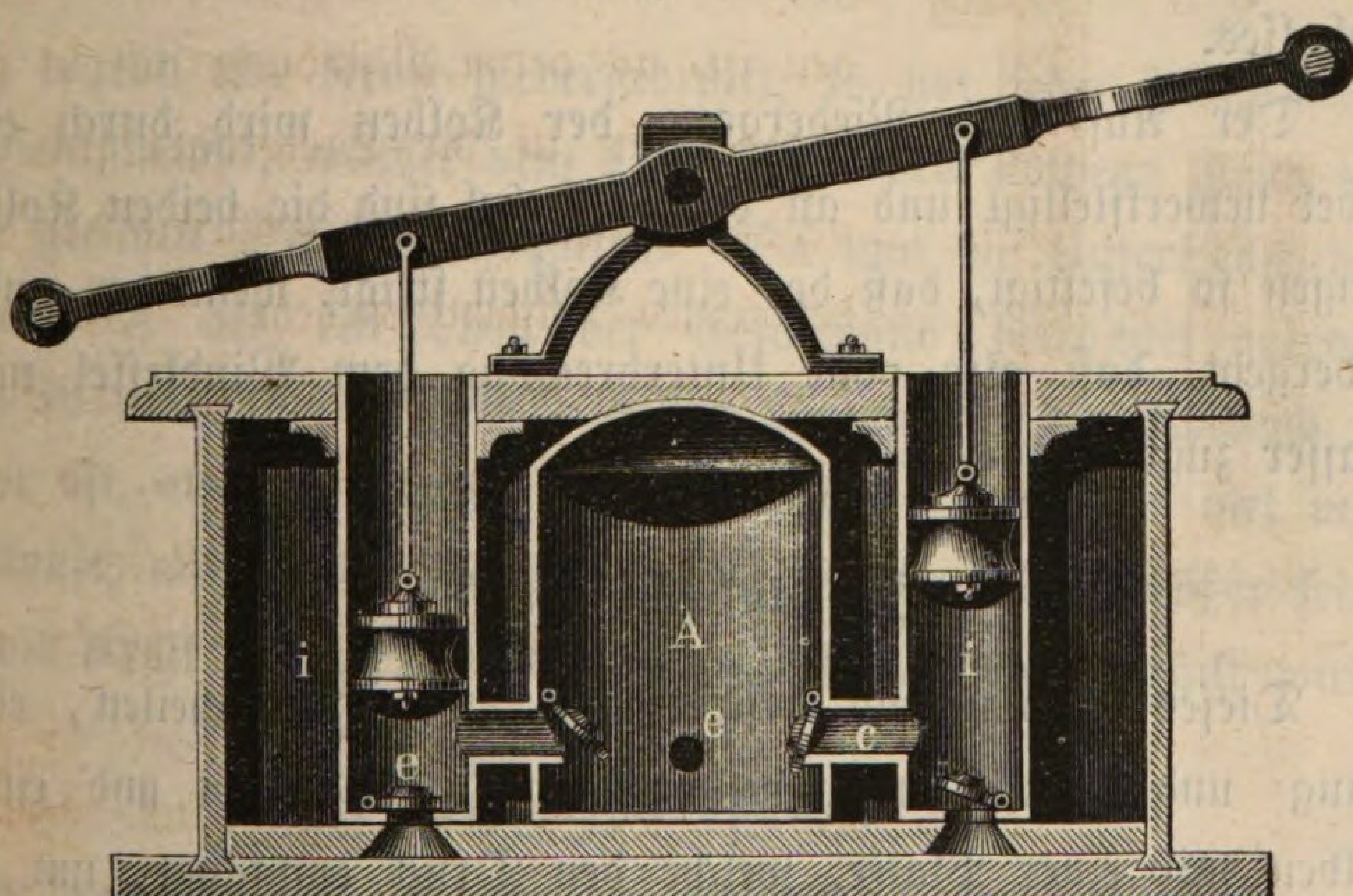


ist ein luftdicht verschlossenes Gefäß *(Fig. 51.)* mit einem Röhrchen versehen, welches bis nahe auf den Boden reicht, und oben mit einer Spitze endigt. Wird dasselbe zum Theil mit Wasser gefüllt und die darüber befindliche Luft auf irgend eine Art, z. B. durch Einblasen mit dem Munde verdichtet, so wird das Wasser in der Röhre empor getrieben, so daß es durch die Spitze in einem Strahle hervorspritzt. Dieser Ball findet mannigfache Anwendung, so namentlich in Form der Feuerspritzen, bei denen man den Heronsball Windkessel nennt.

Die Feuerspritze.

Diese höchst wichtige Maschine ist eine Verbindung des Heronsballs (Windkessels) A mit zwei Druckpumpen ii wie die *Fig. 52* deutlich zeigt. Die Druckpumpen stehen in einem Kasten

Fig. 52.



mit Wasser. Wird nun der Kolben aufgezogen, so öffnet sich das Ventil am Boden des Stiefels, und das Wasser dringt in den Stiefel, während das Ventil c sich schließt; beim Niedergange des Kolbens schließt sich das Ventil am Boden des Stiefels; die Klappe e wird geöffnet und das Wasser wird in den Windkessel A gepreßt; je mehr Wasser in denselben gepumpt wird, desto mehr wird die Luft im obern Theile desselben zusammengepreßt. In dem Windkessel befindet sich ein Rohr, welches bis auf den Boden reicht und oben mit enger Oeffnung versehen ist, auf welche ein sogenannter Schwanenhals angeschraubt wird. Sowie nun durch den Druck, welchen die im Windkessel zusammengepreßte Luft auf das Wasser in demselben fortwährend ausübt, wird ein starker Wasserstrahl aus der Oeffnung des Schwanenhalses hervorgetrieben. Gewöhnlich pflegt sich in der Wand des Windkessels nahe am Boden derselben eine Oeffnung *(S. Fig.)* zu befinden, an welche ein Schlauch mit einer metallenen Spitze angeschraubt werden kann, die mit einer dem Schwanenhalse ähnlichen Oeffnung versehen ist; auch dieser Schlauch liefert einen Strahl, den man leichter lenken und der Feuerstelle näher bringen kann, als den Wasserstrahl eines Schwanenhalses.

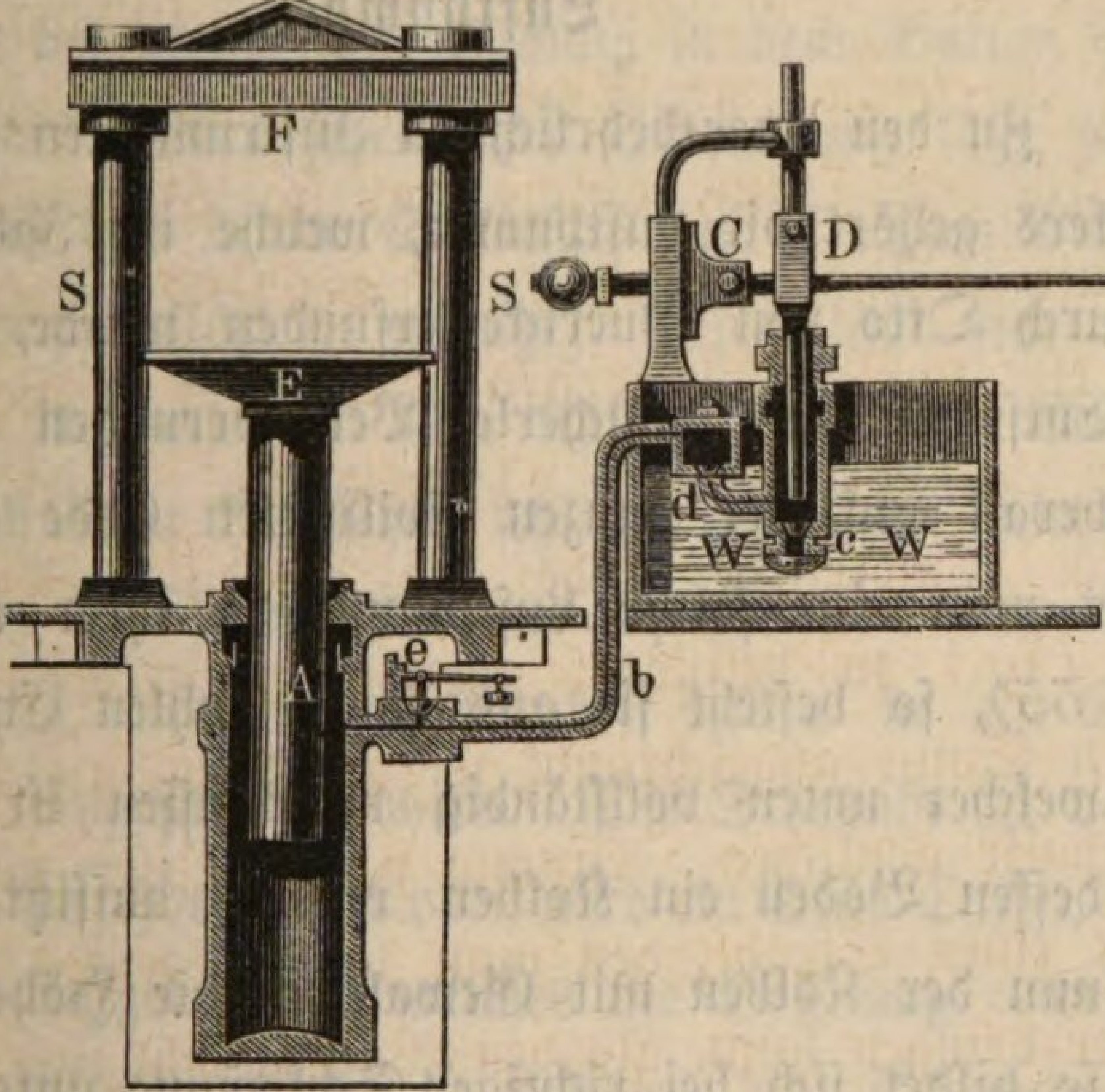
Der Auf- und Niedergang der Kolben wird durch einen Hebel bewerkstelligt und an diesem Hebel sind die beiden Kolbenstangen so befestigt, daß der eine Kolben steigt, wenn der andere niedergeht, daß also ohne Unterbrechung dem Windkessel neues Wasser zugeführt wird.

Hydraulische Presse.

Dieses Instrument besteht aus zwei Haupttheilen, einer Saug- und Druckpumpe, welche den Druck ausübt und einem Kolben mit einer Platte, welche den Druck empfängt, um ihn

auf den zu pressenden Körper zu übertragen. Sie enthält demnach auch zwei Kolben, einen kleinen Druckkolben a und einen großen Preßkolben A, welche beide unter wasserdichtem Verschluß in Cylinder-Gefäßen sich bewegen und durch ein Röhrenstück b mit einander in Verbindung stehen. Die Wirksamkeit dieser Presse beruht darauf, daß die Flüssigkeit jeden Druck nach allen Richtungen gleichmäßig fortpflanzt. Wird der Kolben D (*Fig. 53*)

Fig. 53.



durch irgend eine Kraft niedergedrückt, so hat jeder Flächentheil der Gefäßwände, welcher dem Querschnitt des Kolbens gleich ist, einen gleichen Druck auszuhalten. Da nun die Unterfläche des Kolbens A als ein Theil der Gefäßwand betrachtet werden kann, so wird so viel mal, als der Querschnitt des Kolbens A größer ist, als der Querschnitt des Kolbens D, auch so viel mal die Kraft, mit welcher der Kolben A gehoben wird, größer sein, als die Kraft mit welcher der kleine Kolben niedergedrückt wird.

Compressionspumpe

besteht aus einem starken metallenen Stiefel (*Fig. 54*). in wel-

Fig. 54.

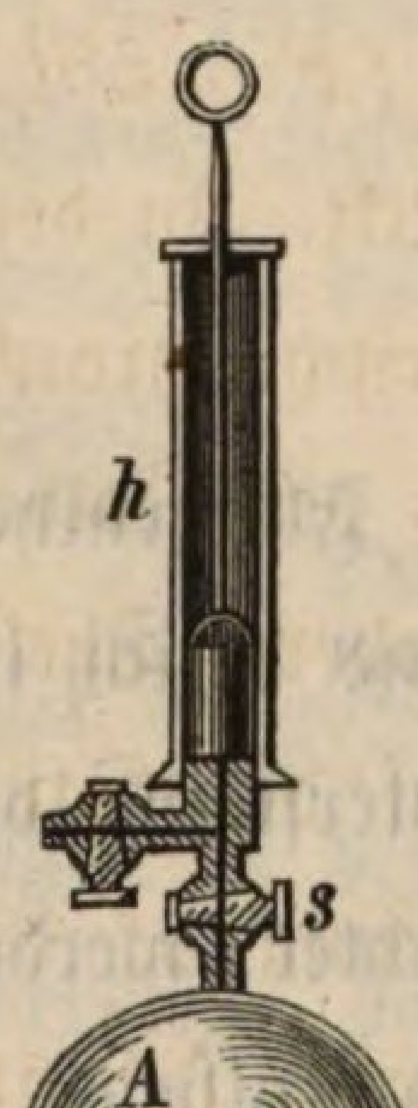


chem sich ein dicht anschließender Kolben auf- und nieder bewegt. Unten bei a befindet sich ein Ventil, welches sich nur nach Außen öffnet und nahe am obern Ende bei b eine kleine Oeffnung, durch welche die zu verdichtende Luft in den Stiefel tritt. Das Gefäß, in welchem die Luft verdichtet werden soll, wird bei a am Stiefel angeschraubt.

Luftpumpe.

Zu den unentbehrlichsten Instrumenten des Physikers gehört die Luftpumpe, welche im Jahre 1650 durch Otto von Guericke erfunden wurde, und seit ihrem ersten Entstehen mit mancherlei Veränderungen und Verbesserungen überall auf der ganzen civilisirten Erde eingeführt ist. Betrachtet man eine solche Luftpumpe in ihrer einfachsten Gestalt *(Fig. 55)*, so besteht sie aus einem hohlen Cylinder h, welcher unten vollständig verschlossen ist und auf dessen Boden ein Kolben r fest aufsitzt. Wird nun der Kolben mit Gewalt in die Höhe gezogen, so bildet sich bei richtiger Schließung unterhalb des Kolbens ein luftleerer Raum; führt aus diesem unteren Theile des Cylinders ein Kanal nach einem Ballon A, der zuvor mit Luft gefüllt, aber doch gegen die äußere Luft völlig abgeschlossen ist, so wird beim Aufziehen des Kolbens ein Theil der Luft aus dem Ballon in den Cylinder treten, und mithin eine Luftverdünnung erleiden. Damit aber beim Niedergange des Kolbens die Luft nicht wieder in den Raum r zurücktreten kann, ist ein Hahn s angebracht, mittelst dessen Hülfe man nach Belieben die Verbindung unterbrechen und wiederherstellen läßt. Der Hahn s wird geschlossen, sobald der Kolben oben ange-

Fig. 55.



kommen ist; drückt man nun den Kolben nieder, so wird dabei nur die Luft im Cylinder zusammengedrückt werden, wenn man ihr keinen Ausweg verschafft; diesen erhält man aber dadurch, daß man einen zweiten Hahn t öffnet.

Ist nun der Kolben unten angekommen, so wird t wieder geschlossen, s geöffnet und ein abermaliges Aufziehen des Kolbens bringt eine neue Verdünnung in dem Kolben hervor.

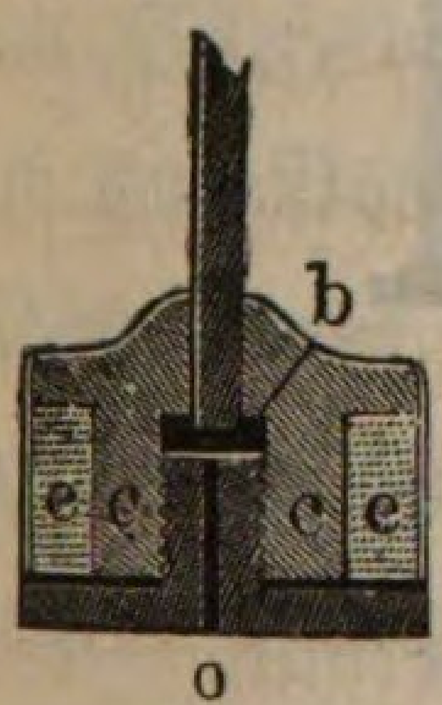
Es läßt sich demnach durch öftere Wiederholung dieser Operationen eine bedeutende Verdünnung in dem Ballon hervorbringen.

Bei der eben beschriebenen Einrichtung läßt sich nicht verkennen, daß das öftere Schließen und Oeffnen der Hähne eine große Unbequemlichkeit erzeugt; dieses läßt sich aber dadurch vermeiden, daß man an dem Kolben selbst ein Ventil anbringt, welches sich beim Aufziehen schließt und beim Niedergang öffnet. Der untere Theil des Kolbens besteht aus einer Messingplatte *(Fig. 56a.)* mit einer Schraube, welche in ein Stück Messing eingeschraubt wird. Die Schraube ist der Länge nach durchbohrt und oben wird ein Stück Taffet, r, *(Fig. 56b.)* aufgebunden, welches die Oeffnung o bedeckt. In dem Messingstück, in welches die Schraube eingeschraubt ist, befindet sich eine Oeffnung r. Sowie der Kolben aufgezogen wird, drückt die Luft im obern Theile des Cylinders durch die Oeffnung r auf das Stück Taffet und preßt es fest auf die Oeffnung o; der Kolben wirkt also beim Aufziehen gerade so, als ob er massiv wäre und die Luft tritt mithin aus dem Ballon durch den geöffneten Hahn s in den unteren Theil des Cylinders; wenn aber, nachdem der Hahn s wieder geschlossen ist, der Kolben wieder niedergedrückt wird, so wird die Luft im unteren Theile des Cylinders zusammengepreßt, sie hebt das Ventil und entweicht durch die Oeffnung b in den

Fig. 56a.



Fig. 56b.

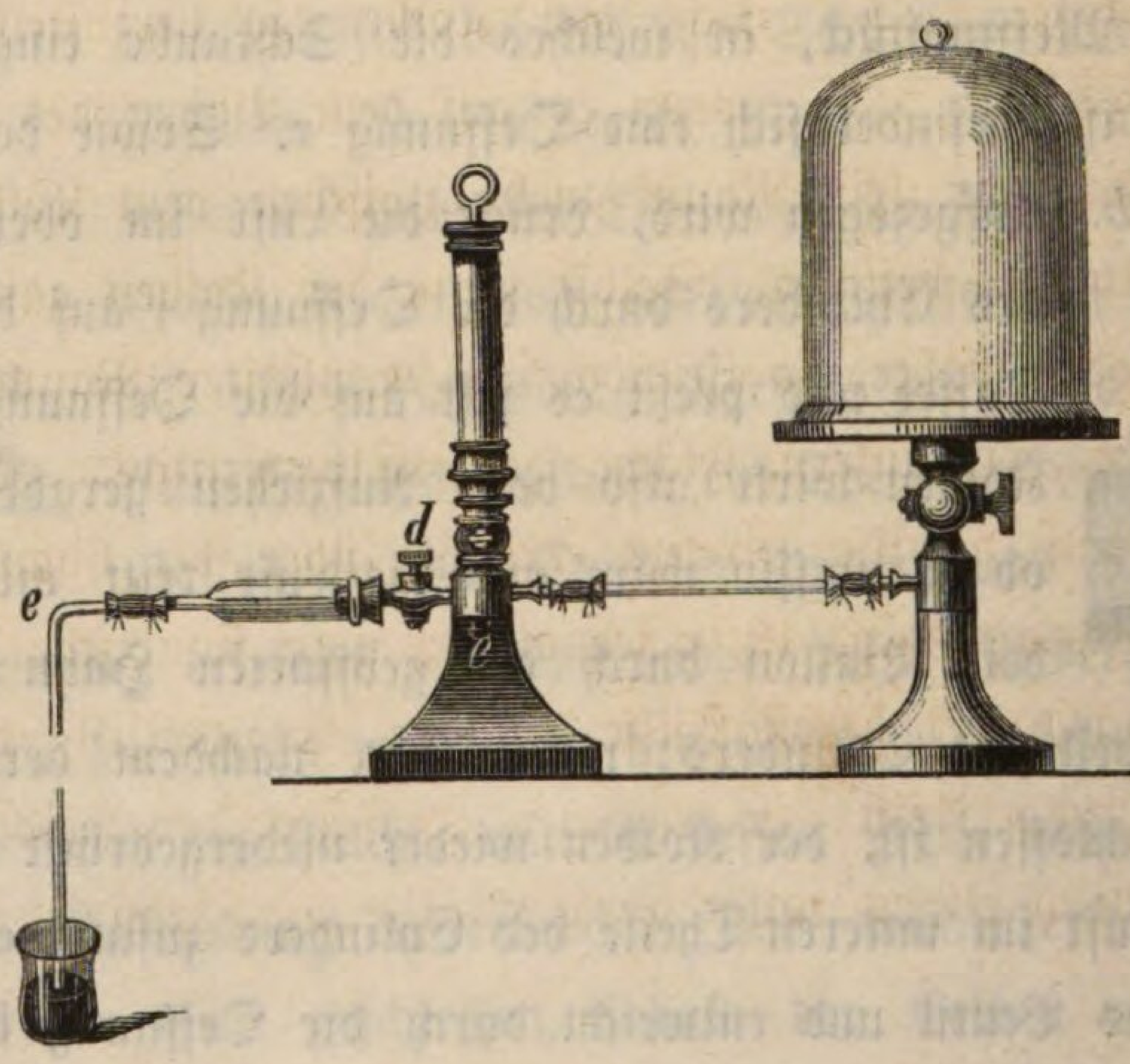


oberen Theil des Cylinders. Das Messingstück steckt in einem Kork, welcher rund herum mit einem feinen Leder versehen ist. Dieses Leder wird durch die Elasticität des Korks an die Wände des Cylinders angepreßt. Der Hahn s wird ebenfalls entbehrlich, wenn ein zweites Ventil da angebracht ist, wo der nach dem Kanal führende Cylinder hohl ist. Dieses Ventil öffnet sich dann beim Aufziehen des Kolbens und schließt sich beim Niedergange.

Der Raum, welcher luftleer gemacht werden soll, wird der Recipient genannt, und zwar ist für die meisten Versuche mit der Luftpumpe die geeignetste Form des Recipienten eine Glasglocke, deren unterer breiter Rand eben abgeschliffen sein muß, damit sie auf den ebenfalls ganz gut abgeschliffenen Teller so aufpaßt, daß zwischen dem Teller und der Glasglocke keine Luft eindringen kann.

Ein vollkommener Verschluß ist jedoch dadurch nur hervorzubringen, daß man den Rand der Glasglocke, bevor man sie auf den Teller setzt, mit Talg beschmiert. *(Fig. 57)* zeigt eine

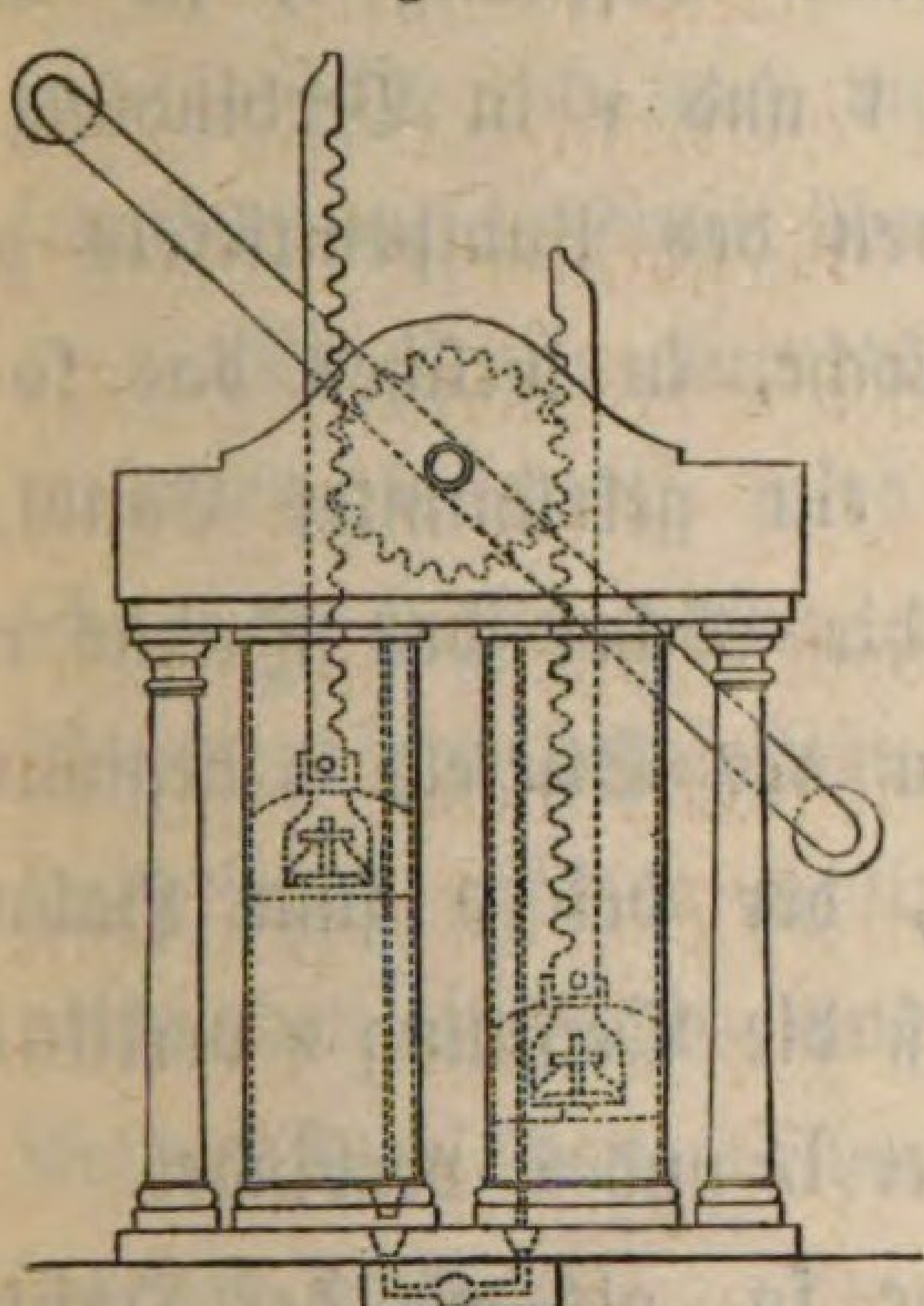
Fig. 57.



kleine Luftpumpe mit einem Recipienten verbunden. Den Grad der Luftverdünnung prüft man durch die sogenannte Barometerprobe, welche bei gewöhnlichen Luftpumpen darin besteht, daß man eine 31 Zoll lange Glasröhre e in ein Gefäß mit Quecksilber eintauchen läßt, wie es die Figur zeigt. Wird nun der Hahn d geöffnet, so steigt das Quecksilber in die Röhre und zwar um so höher, je weiter die Verdünnung getrieben wird; das Uebrige ergiebt sich aus dem bei der einfachern Einrichtung Erwähnten.

Die größeren Luftpumpen enthalten gewöhnlich statt eines Stiefels, deren zwei. Sie haben die Gestalt, wie sie in *(Fig. 58)* abgebildet ist.

Fig. 58.



Die beiden Kolbenstangen sind gezahnt und greifen in dasselbe Getriebe ein; wenn die eine steigt, geht die andere nieder und diese abwechselnde Bewegung wird durch die Drehung einer Kurbel in abwechselnder Richtung hervorgebracht.

Selbst bei vollkommner Einrichtung einer Luftpumpe ist es doch nicht möglich, den Kolben so herzustellen, daß wenn er auf dem Boden des Stiefels sitzt, sich nun gar kein Raum mehr zwischen dem Kolben und dem Stiefelboden befindet. Selbst wenn der Kolben ganz genau auf den Boden paßte, so ist noch ein namhafter Raum unmittelbar unter der untern Fläche des Kolbenventils. Es wird daher nur eine gewisse Grenze erreicht, über die hinaus alles weitere Pumpen nutzlos ist. Jedoch hat man sinnreiche Vorrichtungen erdacht, mit deren Hülfe man im Stande ist, die Luftverdünnung noch weiter zu treiben. Zwischen den beiden Stiefeln ist nämlich etwas unter ihrer Basis ein Hahn angebracht,

(Fig. 59a.) welcher mit vier Oeffnungen versehen ist; die erste und zweite gehen durch, die Richtung der einen steht rechtwinklich auf der der andern. Die dritte *(Fig. b. u. c.)* v parallel mit s geht nur bis zur Mitte des Hahns, und mündet in der Oeffnung t; die vierte endlich u, läuft parallel mit der Längenachse des Hahns und geht ebenfalls bis auf die durchgehende Oeffnung t, sie ist also mit t und v in Verbindung. Am Boden des Pumpenstiefels a beginnt mit dem Loche, in welches das konische Ventil paßt, ein gekrümmter Canal, welcher bei b in die Löcher des Hahns r mündet; am Boden des Stiefels a beginnt ein zweiter Kanal, der bei e zum Hahn führt. Anfangs steht der Hahn so, daß die Oeffnung s vertikal steht und die Oeffnung t die Kanäle bei b und c verbindet.

Fig. 59a.

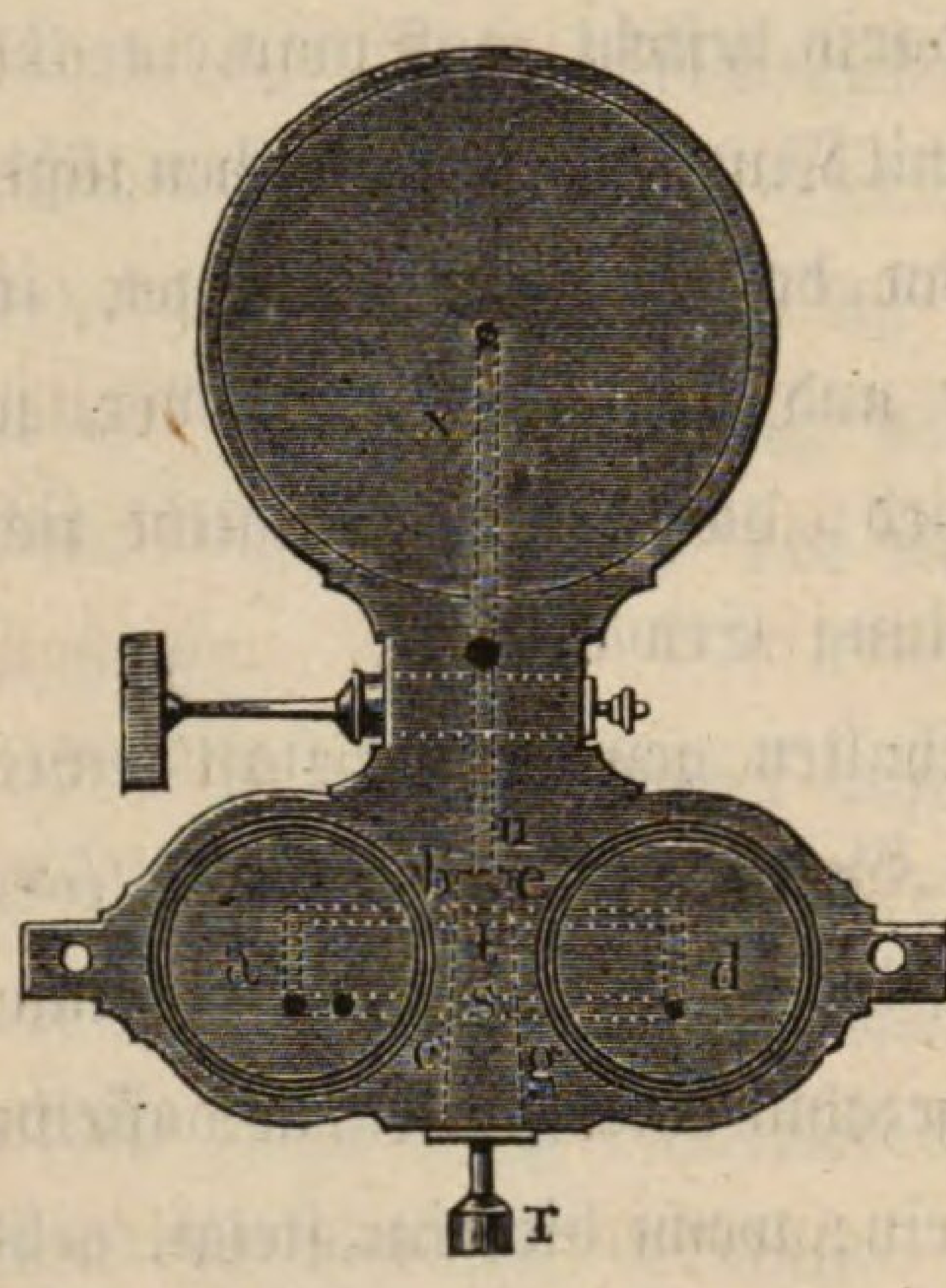
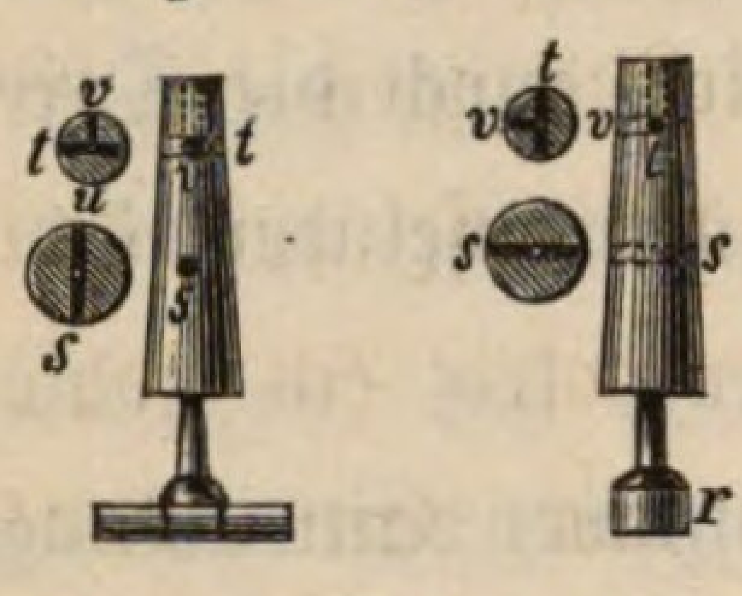


Fig. 59 b. u. c.



In dieser Stellung ist alles gerade so, als ob der Hahn gar nicht vorhanden wäre, und diese Stellung behält er unverändert bei, bis die Barometerprobe stabil geworden ist. Nun wird der Hahn durch eine Viertel-Umdrehung so gestellt, daß die Oeffnung s die beiden Stiefel verbindet, und der Stiefel a durch v mit dem Recipienten verbunden ist. Sitzt nun der Kolben in dem Stiefel d, so befindet sich im schädlichen Raume dieses Kolbens Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre; beim Aufziehen des Kolbens kommt a mit d in Verbindung, während a durch den Schluß seines Bodenventils vom Recipienten abge-

sperrt wird. Während der Kolben in d in die Höhe geht, verbreitet sich aber nicht nur die Luft des schädlichen Raums in diesem Stiefel, sondern es wird alle Luft im Stiefel a auch noch hinüber geschafft; schließt sich demnach beim abermaligen Niedergange des Kolbens das Bodenventil von b wieder, so bleibt im schädlichen Raume von a Luft, welche bei Weitem dünner ist, als die atmosphärische; es entsteht also in a eine weit größere Verdünnung als vorher und in d entweicht nun nochmals eine Portion Luft, welche ohne jene Hähne nicht hätte hinausgeschafft werden können. Ein abermaliger Auf- und Niedergang des Kolbens in a schafft von Neuem eine Luftmenge fort und so läßt sich nach mehrmaligem Kolbenspiel eine neue Grenze schaffen, welche weit über die oben besprochene hinausreicht.

Mit Hülfe einer Luftpumpe lassen sich mancherlei Versuche anstellen, so z. B. wird man nach einigen Kolbenzügen die Erscheinung wahrnehmen, daß der auf den Teller lose aufgesetzte Recipient an demselben fest anhaftet. Ferner wird ein hohler beiderseits offener Cylinder, welcher oben mit einer Blase verbunden ist und unten auf dem Teller steht, nach einigen Kolbenzügen das Schauspiel darbieten, daß die Blase zersprengt wird.

Wenn man ferner in einer hohlen Kugel, welche aus zwei luftdicht aufeinander passenden und äußerlich mit Handgriffen versehenen Hälften besteht, die Luft stark verdünnt und dann die Kugel durch einen Hahn absperrt, so setzen ihre Hälften dem Auseinanderreißen einen bedeutenden Widerstand entgegen, während sich dieselben mit Leichtigkeit von einander trennen lassen, nachdem man den Hahn geöffnet hat. — Körper von verschiedenem spec. Gewicht z. B. ein Ducaten und eine Flaumfeder fallen unter dem Recipienten der Luftpumpe mit fast gleicher Geschwindigkeit.

Die ätherischen Fluida.

I. Wärme.

Die Gegensätze von Wärme und Kälte, welche wir durch unser Gefühlsvermögen wahrnehmen, können wir wohl empfinden, aber wir wissen nicht was sie eigentlich sind. Die Empfindung, welche wir mit dem Ausdruck „Wärme" bezeichnen, ist die Wirkung einer unbekannten Ursache. Die Wärme ist kein materieller Stoff, sondern wir haben sie als ein ätherisches Fluidum zu bezeichnen.

Das behagliche Gefühl, welches die Wärme in dem menschlichen, überhaupt thierischen Körper hervorruft, wird uns, wie Jedermann weiß, zum größten Theil durch die Sonnenstrahlen zugesendet, aber wir empfangen auch Wärme von der Erde und endlich ist auch mit elektrischen Erscheinungen eine Entwicklung von Wärme verbunden, so wie ebenfalls mit dem Lebensproceß, denn die Thierwelt entwickelt zum größten Theil eine gewisse Wärmemenge und endlich wird ja auch durch die Verbrennung Wärme erzeugt.

Nach einer älteren Theorie denkt man sich die Wärme als etwas Körperliches und nennt die zu Grunde liegende Ursache „Wärmestoff." Wir können uns aber unmöglich etwas Materielles unwägbar denken, und daher möchte wohl die Ansicht, nach der die Wärme gleich dem Lichte als ein in Schwingungen verbreiteter Aether betrachtet wird, einleuchtender sein. Nach der Weltentheorie pflanzt sich die Wärme gleich dem Schall in Wellen zu den Körpern fort, und macht sodann ihre Wirkung geltend. Da jedoch eine weitere Ausführung und Speculation der Wärmetheorie über den Zweck dieses Werks hinausgeht, so wenden wir uns vielmehr zu den für gegenwärtigen Zweck wichtigeren Erscheinungen, welche durch die Wirkung der Wärme hervorgerufen werden.

Berücksichtigt man zunächst die Wirkung der Sonnenstrahlen auf die Körper, so hängt allerdings die mehr oder minder wichtige Wirkung der Wärme von der Stellung der Erdachse gegen die Sonne ab, aber auch davon, wie die Körper für die Wärme empfänglich sind, d. h. ob sie mehr oder weniger geneigt sind, Wärme aufzunehmen. Hiernach wird die Wirkungsäußerung bezüglich der Ausdehnung der Körper, der Fortpflanzung rc. eine verschiedene sein.

Ausdehnung fester Körper durch die Wärme.

Alle Körper werden durch die Wärme ausgedehnt, jedoch dehnt sich der eine beträchtlich mehr aus, als der andere. Die Veränderung seines Umfangs hängt von dem Grad der Erwärmung ab; die Ausdehnung eines Körpers kann also dienen, um den Grad seiner Erwärmung zu messen, und den Grad seiner Erwärmung nennt man „die Temperatur," für deren Messung man sich der sogenannten Wärmemesser oder Thermometer bedient.

Soll die Ausdehnung fester Körper gemessen und durch eine bestimmte Zahl ausgedrückt werden, so kann sich diese Messung nur unmittelbar auf die Längenausdehnung beziehen. Will man z. B. wissen, wie viel eine Eisenstange sich ausdehnt, wenn sie bis zu 100^0 erwärmt worden ist, so erfährt man diese Längenausdehnung, wenn man die gemessene Länge der Eisenstange bei 100^0 durch die ursprüngliche bei 0^0 dividirt; die so erhaltene Zahl nennt man dann den Ausdehnungscoëfficienten des Eisens.

Bezeichnet man die ursprüngliche Länge durch m und die erlittene Ausdehnung durch n, so ist der einem jeden festen Körper in gewissem Grade eigenthümliche Ausdehnungscoëfficient $x = \frac{n}{m}$.

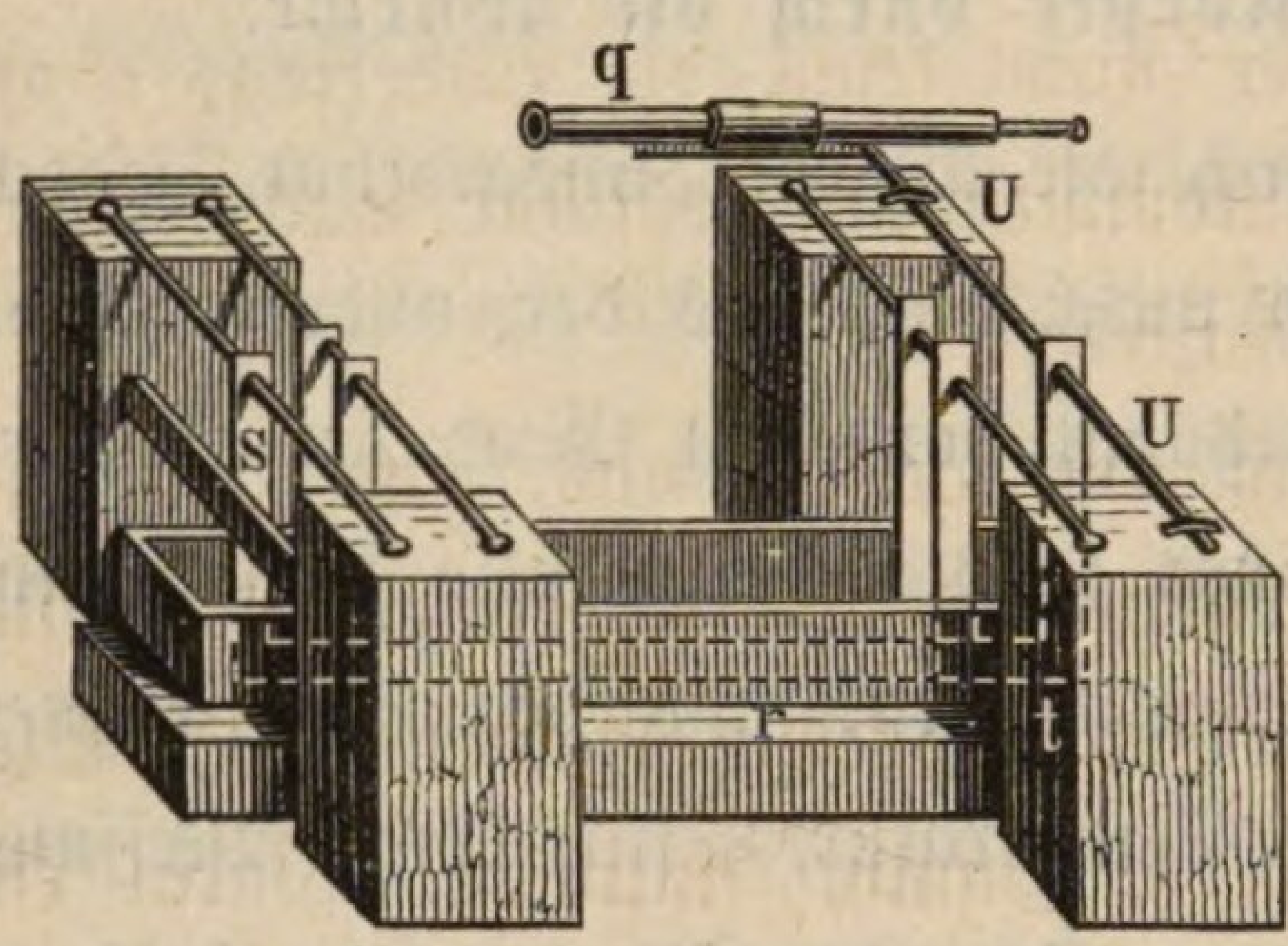
Am leichtesten macht man sich die Ausdehnung anschaulich, wenn man zwei dünne Streifen von Kupfer und Platina aufeinander löthet; denn da das Kupfer sich viel stärker ausdehnt, als Platina, so wird sich dieser Streifen beim Erwärmen krüm-

men und zwar so, daß das Kupfer sich auf der Außenseite der Krümmung befindet.

In Folge der oftmals sehr geringen Ausdehnung hat man auf Mittel gesonnen, diese dem Auge deutlich vorzuführen und von diesen Mitteln ist eins der einfachsten die folgende Vorrichtung.

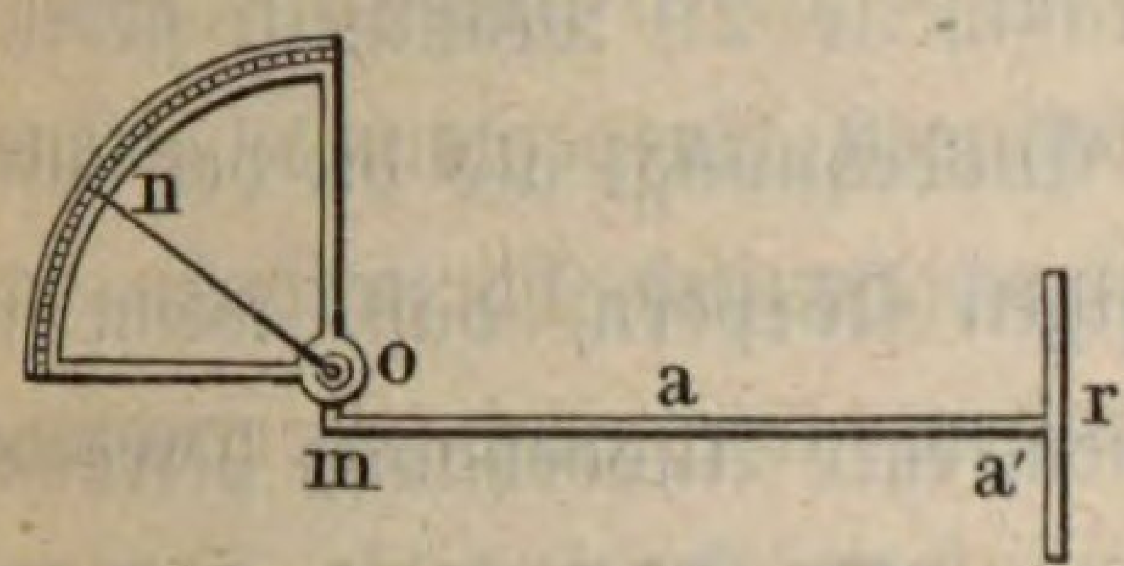
Eine aus dem zu prüfenden Material verfertigte Stange r liegt *(Fig. 60.)* auf gläsernen Stäben, über welche sie frei hingleiten kann. Als Widerhalt für das eine Ende dieses Stabes dient ein vertikaler gläserner Stab s, der an einem horizontalen Querstabe hängt, dessen Enden in zwei große in den Boden eingesenkte massive Pfeiler von Steinen eingekittet sind.

Fig. 60.



Das andere Ende des Stabes r ist in unmittelbarer Berührung mit einem ähnlichen gläsernen Stabe t, der von einem um seine Achse leicht drehbaren Stabe u getragen wird. An der Verlängerung dieser Stange ist ein auf eine Scala gerichtetes Fernrohr q angebracht. Der Glasstab t ist der kürzere; die nach der Scala gerichtete Visirlinie aber der längere Hebelarm. Wenn nun durch die Ausdehnung der Stange r das untere Ende der Stange t auch nur eine sehr kleine Verrückung erfährt, so wird dadurch die Visirlinie des Fernrohrs gedreht, und man kann die kleinste Drehung auf der entfernten Scala ablesen. Einfacher wird freilich dieses durch den *Fig. 61* abgebildeten Apparat erreicht; nämlich eine Stange aa des zu untersuchenden Körpers stützt sich mit einem Ende gegen den festen Widerhalt r, während ihr anderes Ende durch den kürzeren Arm eines Winkelhebels m o n wirkt, der sich um den festen Punkt o drehen kann.

Fig. 61.



Wird nun das Ende m des kürzeren Hebelarms durch die Ausdehnung der Stange a a auch nur unbedeutend fortgeschoben, so wird das andere Ende n einen weit größeren Weg zurücklegen, und man kann auf diese Weise die kleinste Verlängerung der Stange noch sichtbar machen, wenn nur die Länge o n im Vergleich zu o m bedeutend ist. Da man aber nicht leicht die Widerlage r und die Drehung der Achse o vollkommen unverrückbar machen kann, so möchte jener Apparat vorzuziehen sein.

Die Metalle dehnen sich am meisten aus, und zwar hat sich nach der ermittelten Längeausdehnung der gewöhnlichsten ergeben, daß sich Zink am stärksten ausdehnt, während z. B. Blei, Zinn, Silber, Kupfer, Gold, Wißmuth, Antimon, Platin eine in dieser Reihenfolge abnehmende Ausdehnung zeigen.

Ausdehnung der Flüssigkeiten.

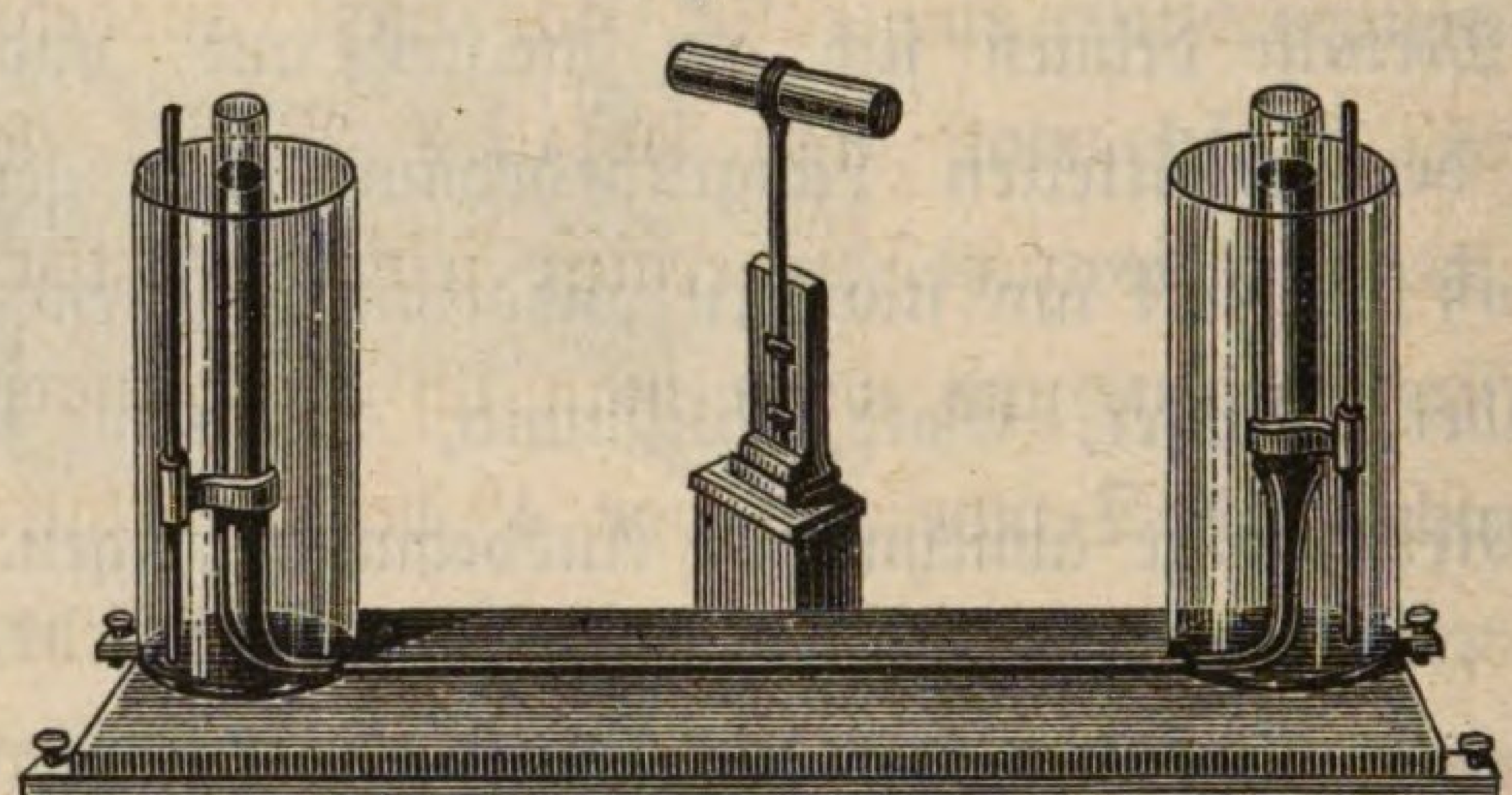
Wegen der schwachen Cohäsion, welche die Theilchen eines flüssigen Körpers zusammenhält, werden diese durch den Einfluß der Wärme leichter ausgedehnt, als die festen Körper, aber dennoch ist die Ausdehnung der verschiedenen flüssigen Körper von einander bedeutend abweichend, da manche eine weit beträchtlichere Ausdehnung erleiden, als andere; so z. B. dehnt sich Weingeist sechs mal stärker aus, als Quecksilber. Selbst die Verschiedenheit der Temperatur, welche uns die verschiedenen Jahreszeiten bringt, hat einen solchen Einfluß auf die Ausdehnung des Weingeistes, daß derselbe in heißen Sommern 3% mehr (dem Maße nach) haben wird, als in strengem Winter. Vorzugsweise bedeutend ist die Ausdehnung der durch Verdichtung von Gasen erhaltenen Flüssigkeiten; es ist z. B. von Thilorier die Beobachtung gemacht

worden, daß verdichtete Kohlensäure von 0—30⁰ erwärmt, sich so beträchtlich ausdehnt, daß 20 Maßtheile 29 Maßtheile geben; dies ist mithin eine vier mal größere Ausdehnung, als die der Luft.

Man findet auch bei den flüssigen Körpern, daß, wenn sie einer höhern Temperatur nahe kommen, ihre Ausdehnung beträchtlicher wird, welches am wenigsten beim Quecksilber der Fall ist, weshalb dieses wegen seiner gleichförmigen Ausdehnung für Wärmemesser am geeignetsten ist.

Um zu erfahren, wie sehr sich die Flüssigkeiten ausdehnen, hat man einen Apparat mit zwei verbundenen Röhren *(Fig. 62)*

Fig. 62.



hergestellt, welcher zur Bestimmung der absoluten Ausdehnung von Flüssigkeiten sehr zweckmäßig ist. Es wird nämlich die Flüssigkeit in dem einen Schenkel einer solchen Röhre erwärmt und alsdann beobachtet, wie viel sie höher steht, als der Spiegel der Flüssigkeit in der anderen Röhre, die man auf einer unveränderlichen Temperatur erhalten muß. Die Flüssigkeitssäulen halten sich gegenseitig im Gleichgewicht, und die kürzere Säule der dichteren Flüssigkeit trägt eine längere Säule der ausgedehnten Flüssigkeit. Soll aber der Unterschied der Spiegeloberfläche der beiden Flüssigkeitssäulen genau das Maß der Ausdehnung geben, so muß vor allen Dingen beobachtet werden, daß die Schenkel wirklich vertikal sind, daß nicht allein die Temperatur genau gemessen, sondern auch hinreichend lange auf derselben Stufe er-

halten werde, um den Unterschied der Spiegeloberfläche messen zu können. Ferner ist im Perspektiv eine genaue Eintheilung erforderlich, um die geringsten Höhenunterschiede wahrzunehmen.

Andere Verfahrungsarten geben nur die scheinbare Ausdehnung an, und man muß dazu die der festen Körper kennen, um die absolute Ausdehnung darnach zu bestimmen; da dies aber nicht immer mit gehöriger Sicherheit geschehen kann, so ist das hier angegebene Verfahren vorzuziehen.

Eine besondere Erwähnung verdient jedoch die Ausdehnung des Wassers, da sie sehr unregelmäßig ist. Das Wasser macht nämlich eine Ausnahme von anderen Flüssigkeiten, indem dasselbe bei einer bestimmten Temperatur sich nicht ausdehnt, sondern zusammenzieht. Erwärmt man eiskaltes Wasser allmälig, so fängt dasselbe an, bis zur Temperatur seiner größten Dichtigkeit sich zusammenzuziehen, und wenn man im entgegengesetzten Falle Wasser, welches eine Temperatur von 4^0 besitzt, erkältet, so dehnt es sich aus, jedoch ist die Ausdehnung unter 4^0 sehr gering.

Besonders merkwürdig ist, daß, wenn man das Wasser in einer Thermometerröhre um eine gleiche Anzahl von Graden über 3^0 erwärmt, oder unter 5^0 abkühlt, sich dasselbe in gleichem Maße ausdehnt.

Will man beweisen, daß das Wasser bei 4^0 seine größte Dichtigkeit besitzt, so fülle man ein hohes cylindrisches Glas mit Wasser von 0^0, stelle dieses in ein Zimmer und bringe an den Boden, so wie nahe unter die Oberfläche des Wassers zwei Wärmemesser (s. weiter unten). Man wird alsdann wahrnehmen, daß der untere Wärmemesser schneller steigt, als der obere bis er 4^0 angiebt; dann aber wird er schnell eingeholt und nun steigt dieser schneller, als der untere.

Weil sich das Wasser von 4^0 zu Boden senkt, kann sich in stillstehendem Wasser kein Grundeis, in fließendem Wasser aber deshalb bilden, weil durch Mischung die Erkältung gleichförmig wird.

Ausdehnung gasförmiger Körper.

Die Gase dehnen sich weit beträchtlicher durch die Wärme aus, als starre und flüssige Körper, weil von der Wirksamkeit der Cohäsionskraft unter ihren Theilchen gar keine Rede mehr sein kann, sondern vielmehr unter ihnen eine Abstoßung sich geltend macht.

Angestellte Versuche haben gelehrt, daß alle wirklichen Gase bei gleichem Luftdruck und bei einer gleichen Anzahl von Graden sich auf gleiche Weise ausdehnen, und daß diese Ausdehnung mit der Wärmezunahme in gleichem Verhältniß steht, so lange die Gase dem Tropfbarflüssigwerden nicht zu nahe sind.

Gay-Lussac, welcher der erste war, der bestimmte Resultate lieferte, bediente sich zu seinen Versuchen eines Glasrohrs mit einer Kugel. Das Verhältniß des Inhalts der Kugel zu dem des Rohrs wird bestimmt, sie wird trocken gemacht, und dann das Gewicht des Quecksilbers ermittelt, welches die Kugel zu fassen im Stande ist.

Aus dem Verhältniß des gefundenen Gewichts läßt sich dann auf das Verhältniß des Volumens schließen. Man theilt nun das Rohr so ein, daß jeder Raumtheil desselben $^1/_{1000}$ von dem der Kugel ist. Man bringt alsdann die Gasart, welche durch Chlorcalcium getrocknet sein muß, in das Rohr, so daß sie das Quecksilber und einen kleinen Theil desselben aus dem Rohre verdrängt. Man legt dann die Röhre in horizontaler Lage in ein eisernes Gefäß und befestigt sie mit einem Korkstöpsel, daß die hervorragende Quecksilbersäule noch sichtbar ist, wenn das Wasser, mit welchem sie gefüllt wird, 0^0 hat. Wird nun das Wasser erwärmt, so wird die Quecksilbersäule noch weiter fortgeschoben. Schiebt man hierauf das Rohr weiter hervor, so daß die ganze Gasmenge die Temperatur des Wassers annimmt, so wird man leicht die Ausdehnung finden.

Nach neueren Beobachtungen von Magnus und Regnault ist als Mittel für die größere Ausdehnung die Zahl 1,366 gefunden worden, d. h. wenn das Volumen eines Gases bei $0^{0} = 1$ ist, so ist es bei $100^{0} = 1,366$.

Die Messung der wechselnden Wärmemenge oder Temperaturgrade.

Wärmemesser. Um den Grad der Wirkung, welchen die Wärme auf die physische Veränderung der Körper hervorbringt, zu messen, bedient man sich gewisser Instrumente, der sogenannten Wärmemesser oder Thermometer, welche zur Vergleichung der Temperaturgrade dienen, und sobald sie für hohe Temperaturen bestimmt sind, den Namen Pyrometer erhalten. Schon vor einigen Jahrhunderten hat man solche Instrumente eingerichtet, und zwar soll Galiläi, nach Einigen Sanctorio und nach Anderen Cornelius Drebbel, ein holländischer Bauer, zuerst die sinnreiche Idee gehabt haben, die Ausdehnung der Körper zu benutzen, um die verschiedenen Temperaturgrade miteinander zu vergleichen.

Der berühmte Newton soll jedoch der erste gewesen sein, welcher das Instrument für die Physik brauchbar machte, wozu erforderlich war, daß, wenn man die Ausdehnung der Körper zur Ermittelung der Temperaturveränderungen benutzen wollte, man eine in bestimmte Anzahl Grade eingetheilte und zwischen zwei beständigen Temperaturen befindliche Scala festsetzte.

Das erste Thermometer von Sanctorio, war ein Luftthermometer, welches aus einer Glasröhre bestand, die an dem einen Ende offen, an dem andern aber mit einer Glaskugel versehen war, welche man gelinde erwärmte, um die Luft auszutreiben, und alsdann in eine gefärbte Flüssigkeit tauchte, die beim Zusammenziehen der Luft in der Röhre aufsteigt. Nähert man

nun der Kugel irgend einen warmen Körper, so dehnt sich natürlich die Luft aus, welches durch das Herabsteigen der gefärbten Flüssigkeit angezeigt wird.

Statt der Gasarten hat man sich gewisser Flüssigkeiten, namentlich des Weingeistes und Quecksilbers bedient, um durch deren verschiedene Ausdehnung in Glasröhren die Temperaturen zu vergleichen. Quecksilber eignet sich jedoch besser dazu als Weingeist, weil das Quecksilber einen höheren Siedpunkt hat, und empfindlicher gegen die Wärme ist, wiewohl für die Bestimmung großer Kältegrade die Weingeistthermometer zweckmäßiger sind, da das Quecksilber sehr leicht gefriert. Um ein einfaches Weingeistthermometer anzufertigen, fülle man eine Glasröhre mit gefärbtem Weingeist von 0,83 — 0,85 Dichtigkeit, und graduire dieselbe wegen der ungleichförmigen Ausdehnung des Weingeistes bei höherer Temperatur nach Quecksilberthermometern. Die Quecksilberthermometer sind übrigens die gebräuchlichsten und sollen daher hier näher besprochen werden. Sie stellen eine cylindrische Glasröhre dar, welche unten mit einer hohlen Glaskugel versehen und anstatt des Weingeistes mit Quecksilber gefüllt ist; ihre Einrichtung ist sehr einfach, muß aber mit großer Genauigkeit ausgeführt werden.

Die Operationen, welche zur Anfertigung eines solchen Instruments erforderlich sind, bestehen darin, daß man sich zunächst überzeugt, ob die Röhre vollkommen cylindrisch ist, alsdann dieselbe mit Quecksilber füllt, sie verschließt und endlich das Thermometer graduirt, d. h. in gleiche Theile eintheilt.

Um die Gleichmäßigkeit der Röhre zu prüfen, füllt man sie mit einer kleinen Quecksilbersäule, bindet dann an das Ende der Röhre, wo sich das Quecksilber befindet, eine Blase von Kautschuck, und drückt auf dieselbe, um das Quecksilbersäulchen durch die ganze Röhre hindurch zu treiben; mißt darauf das Säulchen

an verschiedenen Stellen mit Hülfe eines Maßstabes; zeigt es sich dann allenthalben gleich lang, so kann man die Röhre benutzen. Diese Prüfung auf Gleichförmigkeit der Röhre ist von außerordentlicher Wichtigkeit und hierfür mag folgendes Verfahren angegeben werden: Man trenne durch Schütteln einen Quecksilberfaden und untersuche, ob er allenthalben zwischen den Theilstrichen der Scala einerlei Unterschiede der Grade angiebt. Diese Trennung kann man durch Erkältung der Kugel, indem man sie mit Baumwolle umwickelt und mit Schwefeläther begießt, in verschiedenen Längen bewerkstelligen, da der Faden gewöhnlich dicht an der Kugel abreißt.

Um nun die geprüfte Röhre mit Quecksilber füllen zu können, erwärmt man die Kugel derselben, damit sich die Luft ausdehnt und taucht dann die mit einer kleinen Oeffnung versehene Spitze rasch in ein Gefäß mit Quecksilber; sind nur einige Tropfen desselben in die Kugel der Röhre hineingezogen, so kehrt man diese um, und erhitzt die Kugel von Neuem, damit die Luft durch die sich ausdehnenden Quecksilberdämpfe völlig ausgetrieben wird; taucht man endlich die Röhre noch einmal in Quecksilber, so kann man überzeugt sein, daß die Kugel nun vollständig mit Quecksilber gefüllt ist.

Fig. 63 zeigt die Stellung der Röhre während des Füllens.

Fig. 63.



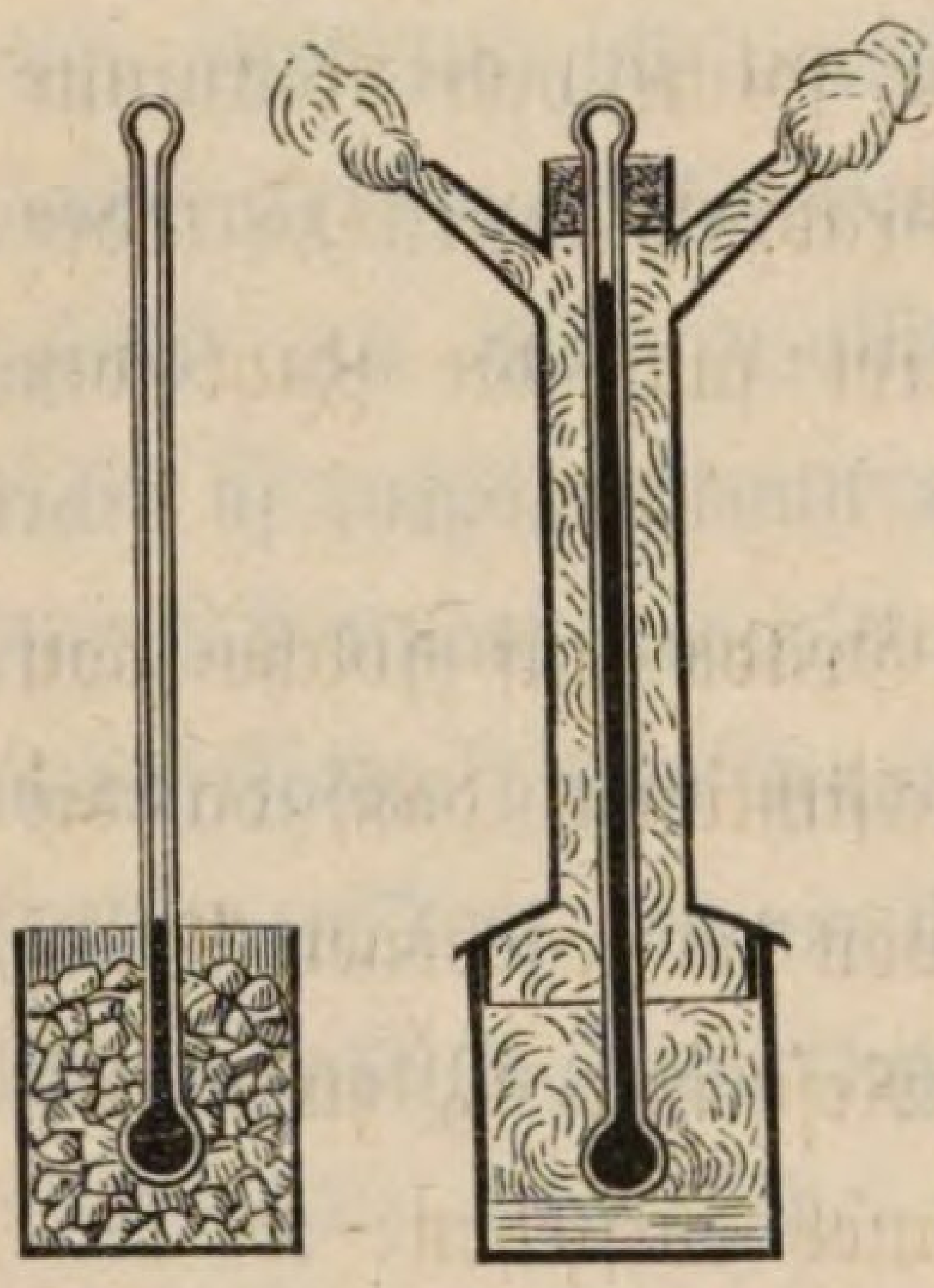
Ist die Füllung geschehen, so schmelzt man die Röhre mit Hülfe des Löthrohrs zu und rundet die Spitze in der Flamme ab. Hierauf müssen, um das Thermometer graduiren zu können, zwei fixe Punkte, nämlich der Gefrier- und Siedepunkt des Wassers bestimmt, und der dazwischenliegende Raum muß in gleiche Theile getheilt werden.

Um den Gefrierpunkt zu bestimmen, steckt

man die Kugel in ein Gemisch von destillirtem Wasser und Eis. *(Fig. 64.)*, Da nämlich diese Mischung nach kurzer Zeit eine beständige Temperatur annimmt, während eine höhere Wärme das Schmelzen von Eis und eine niedrigere das Gefrieren des Wassers veranlassen würde, so bleibt das Ausdehnungsbestreben des Quecksilbers immer dasselbe; folglich hat man nur den Punkt des Gipfels der Quecksilbersäule genau an der Röhre zu bezeichnen.

Zur Bestimmung des Siedepunkts benutzt man gewöhnlich destillirtes Wasser, da unreines Wasser nicht bei derselben Temperatur in's Kochen geräth, indem man das Thermometer in erzeugte Wasserdämpfe einhüllt *(Fig. 65.)*; denn würde man diese Vorsichtsmaßregel nicht gebrauchen, so würde die Natur des Gefäßes auf die Siedhitze einen Einfluß ausüben, da bekanntlich das Wasser in metallenen Gefäßen leichter ins Kochen geräth, als in gläsernen. Man nimmt zu dem Ende ein langes Gefäß mit ein wenig destillirtem Wasser gefüllt und bringt letzteres in's Kochen; das Gefäß wird dann sehr bald mit Wasserdämpfen angefüllt sein, und das Quecksilber eine bestimmte bleibende Höhe erreichen, welche als Siedepunkt zu bezeichnen ist. — Der Gefrierpunkt wird dann ebenfalls, wie angegeben, ermittelt und der Zwischenraum zwischen beiden Punkten in gleiche Theile eingetheilt, jedoch nicht immer auf ein- und dieselbe Weise; denn manche Thermometer sind in 100 gleiche Theile eingetheilt, indem der Siedepunkt mit 100 und der Gefrierpunkt mit 0 bezeichnet wird. Solche sind die nach Celsius, welche für wissenschaftliche Zwecke die gebräuchlichsten sind. Andere im gewöhnlichen Leben am meisten eingeführte sind die von Réaumur, bei denen der Siedepunkt mit

Fig. 64 u. 65.



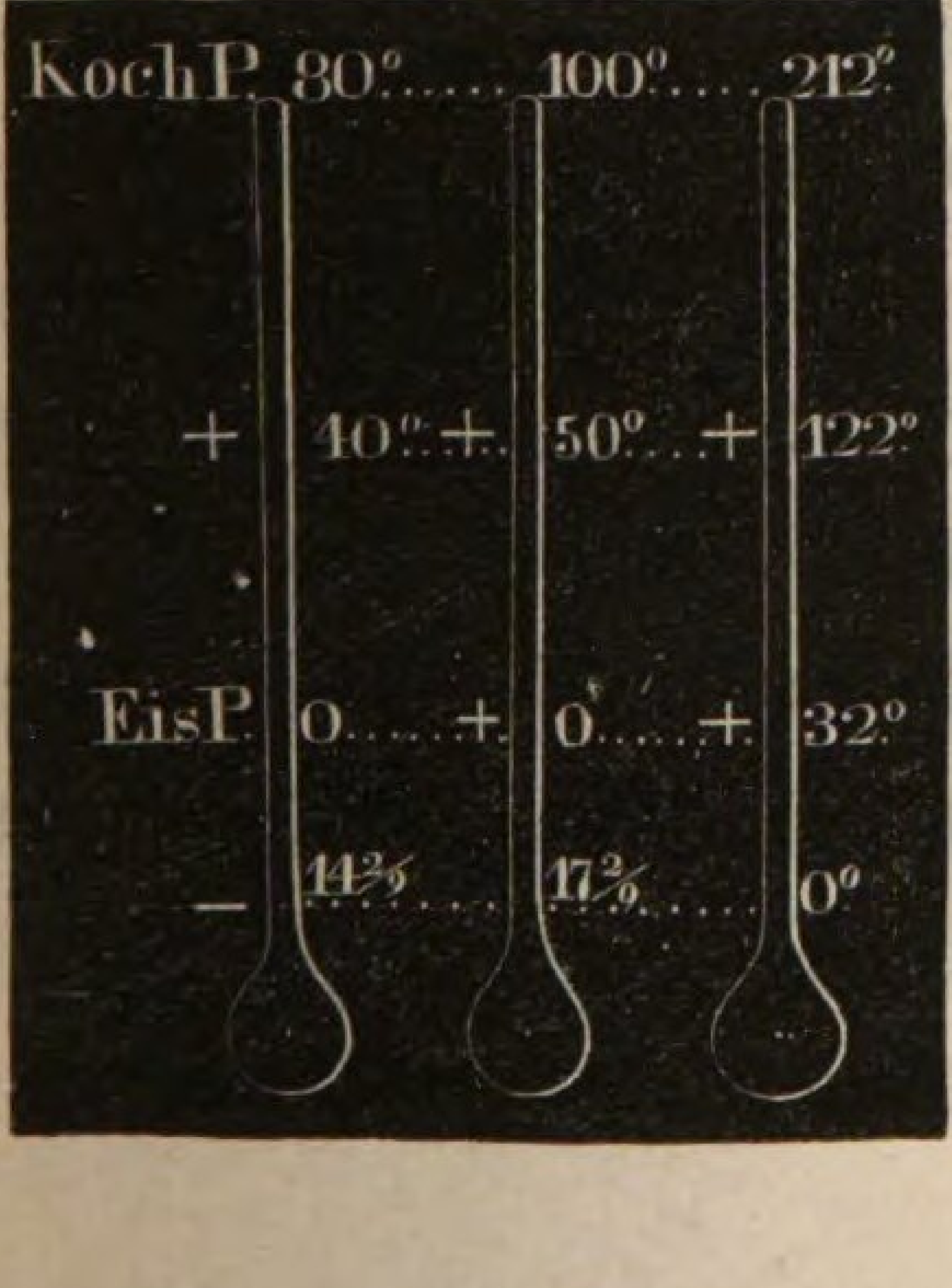
80 und der Gefrierpunkt mit 0 bezeichnet ist. Endlich sind noch die besonders in England gebräuchlichen Thermometer von Fahrenheit zu erwähnen, bei denen der Siedepunkt durch 212 und der Gefrierpunkt + 32 angezeigt ist, so daß also der zwischen beiden Punkten liegende Raum eine Eintheilung von 180° erfährt.

Will man die Grade dieser verschiedenen Eintheilung gegenseitig aufeinander reduciren, so geschieht dies sehr leicht, wenn wir bedenken, daß 100° nach Celsius 80° nach Réaumur sind; demzufolge ist 1° Celsius = 0,8° R und 1° R = 1,25° C. Ferner sind 180° F = 100° C mithin muß 1° F = $^5/_9$° C und 1° C = $^9/_5$° F sein.

Um nun die Grade nach Celsius in solche von Réaumur zu verwandeln, hat man die gegebene Gradzahl mit 0,8 oder $^4/_5$ zu multipliciren. Umgekehrt multiplicirt man die Zahl der Réaumur-Grade mit 1,25 oder mit $^5/_4$.

Will man aber die Fahrenheit'schen Grade auf solche von Celsius zurückführen, so hat man zu berücksichtigen, daß, da die Nullpunkte derselben nicht zusammenfallen, von der gegebenen Gradzahl 32 abgezogen werden muß und der Rest mit $^5/_9$ zu multipliciren ist. Hiernach wird folgende Formel entstehen: x^0 f = (x—32) $^5/_9$° C.

Fig. 66.



Sollen dagegen die Grade von C in solche von F verwandelt werden, so muß man mit $^9/_5$ multipliciren und noch zum Product 32 addiren: x^0 C = (x $^9/_5$ + 32)° R. — *Fig. 66* zeigt die drei Thermometerscalen.

Zur vergleichenden Uebersicht mag folgende Tabelle dienen:

Scala nach Celsius.	Scala nach Reaumur.	Scala nach Fahrenheit.
— 30	— 16	— 4
— 10	— 8	— 14
0	0	— 32
+ 10	+ 8	50
20	16	68
30	24	86
40	32	104
50	40	122
60	48	140
70	56	158
80	64	176
90	72	194
100	80	212

Anmerkung. Die in vorliegendem Werke angegebenen Temperaturgrade beziehen sich, wenn sie nicht besonders bezeichnet sind, auf die 100theilige Scala nach Celsius.

Obgleich das Quecksilberthermometer sich noch für die Bestimmung höherer Temperaturgrade eignet, kann man jedoch nur bis zu 350⁰ gehen, da man sonst den Siedepunkt des Quecksilbers (400⁰) zu nahe kommt. Unter 0⁰ kann man sich bis zu 35⁰ auf die Angaben verlassen, da man den Gefrierpunkt des Quecksilbers 40⁰ noch nicht zu nahe ist; für niedere Grade muß man sich daher der sogenannten Weingeistthermometer, für höhere über 350 hinausreichende Temperaturgrade der sogenannten Pyrometer bedienen. So benutzt man z. B. Luftpyrometer, welche aus einem sphäroidischen hohlen Körper von Platina bestehen, die mit einer feinen Röhre versehen sind, aus der die Luft bei der Erhitzung ausströmt. Ein anderes Pyrometer von Daniel gründet sich darauf, daß Reißblei weniger dehnbar ist, als Platina.

Nach Princep benutzt man die Schmelzpunkte verschiedener Metalle, zur Bestimmung von Wärmegraden. Ein Pyrometer von Pouillet gründet sich auf das Entstehen eines thermoelectri-

schen Stromes, wenn Platina und Gold an der Verbindungsstelle erhitzt werden, indem der Strom von der Temperatur abhängt, welcher er ausgesetzt ist. Das gebräuchlichste Pyrometer ist jedoch das von Wedgewood, welches aus Thonkugeln besteht, und darauf beruht, daß der Thon bis zur Rothglühhitze Wasser abgiebt, bei höherer Temperatur aber sich zusammenzieht.

Wedgewood verfertigte cylindrische Körper von bestimmtem Durchmesser aus Thon und brachte sie, nachdem sie einer bestimmten Temperatur ausgesetzt gewesen, zwischen zwei unter einen spitzen Winkel geneigte Lineale. Je tiefer sie nun zwischen diese hinabsanken, desto höher war die Temperatur, welche bestimmt werden soll.

Fortpflanzung der Wärme.

Die Wärme kann sich durch Berührung fortpflanzen, d. h. empfängt ein Körper Wärme von dem einen Theile, so wird die ganze Masse durchdrungen, und die Wärme verbreitet sich durch den ganzen Körper von einem Theile zum andern; sie wird daher leitende Wärme genannt und zwar zum Unterschiede von der strahlenden, welche sich in die Entfernung fortpflanzt.

Da aber in Bezug auf die Leitungsfähigkeit ein großer Unterschied stattfindet, so hat man gute und schlechte Wärmeleiter zu unterscheiden.

Die Wärme wird am besten in schweren und dichten Körpern fortgepflanzt, während leichte und poröse Körper sehr schlechte Wärmeleiter sind; daher kommt es denn auch, daß die Metalle fast alle mehr oder weniger gute Wärmeleiter sind, während Federn, Holz, Stroh, feine wollene Zeuge u. s. w. als schlechte Wärmeleiter betrachtet werden dürfen; zu letzteren ist namentlich auch das Glas zu zählen, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man das eine Ende einer Glasröhre erhitzt. Man wird

alsdann am andern Ende durchaus keine Wärme wahrnehmen; ja man kann sogar dieselbe in einer kleinen Entfernung von dem erhitzten Ende anfassen; erhitzt man dagegen einen Metalldraht, so wird man ihn wegen der von Theilchen zu Theilchen fortgeleiteten Wärme nicht halten können. — Man benutzt diese größere oder geringere Leitungsfähigkeit im gewöhnlichen Leben; so gründet sich z. B. die Einrichtung der Doppelfenster und Doppelwände auf die schlechte Wärmeleitungsfähigkeit der atmosphärischen Luft, die, wie alle Gasarten, zu den schlechtesten Wärmeleitern gehören. Ferner benutzt man z. B. Stroh als schlechten Wärmeleiter für die Anlage der überirdischen Eiskeller, indem man den Behälter mit doppelten Wänden, die mit Stroh ausgefüllt sind, umgiebt.

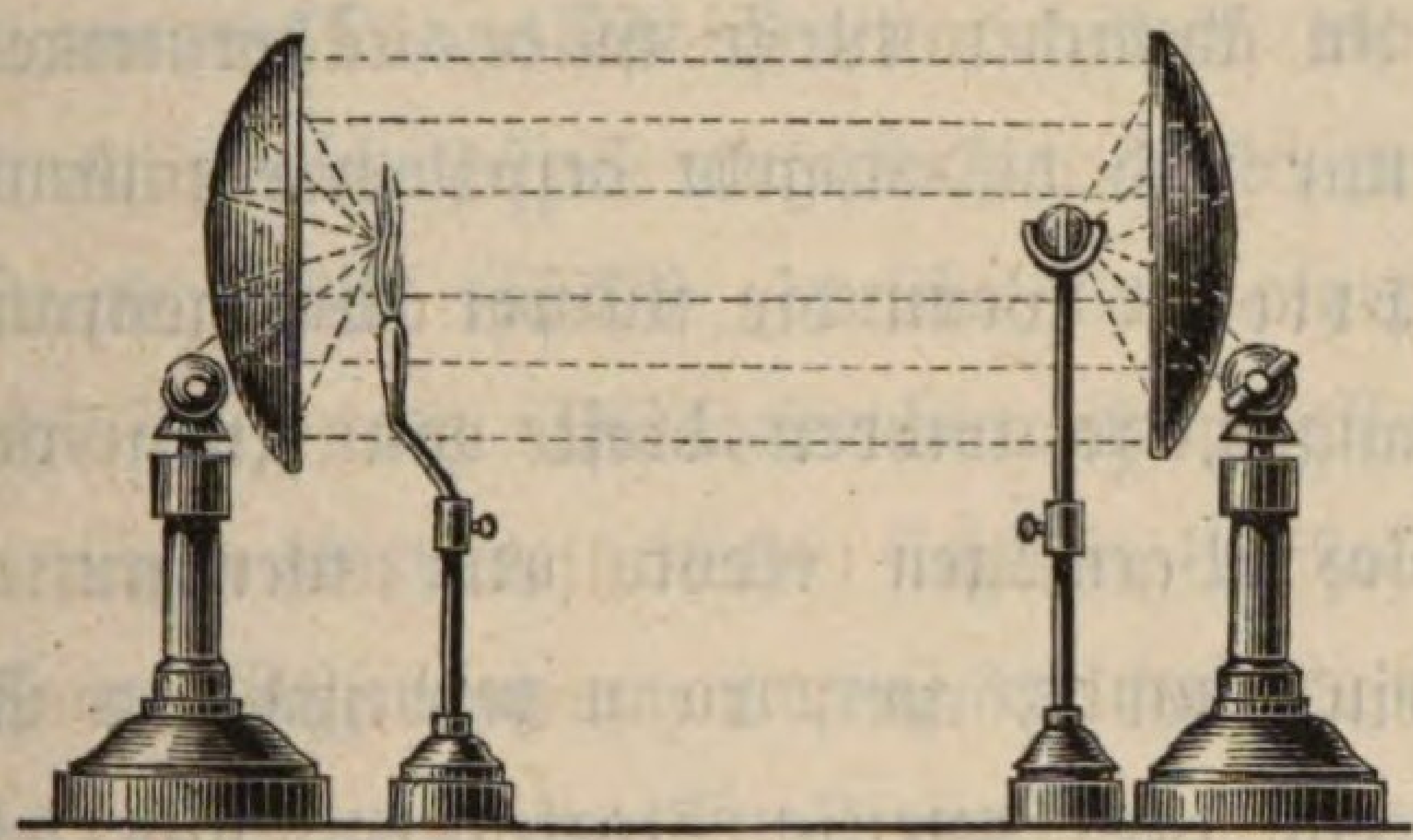
Die Leitung der Wärme in flüssigen und gasförmigen Körpern ist durch die Bewegung ihrer Theile bedingt. Erhitzt man z. B. einen mit Wasser gefüllten Glaskolben, unten mittelst einer brennenden Weingeistlampe, so wird man deutlich wahrnehmen, daß wenn zuvor ein in Wasser unslösliches Pulver hineingeworfen wurde, der Kreislauf der Flüssigkeit in der Weise vor sich geht, daß diese in der Mitte des Gefäßes emporsteigt, an den Wänden wieder herabfällt und so die Flüssigkeit wieder erwärmt. Würde man dagegen den Kolben von oben erwärmen, so würde die Fortpflanzung der Wärme von oben nach unten nicht so rasch vorwärts gehen; man muß daher immer die Gefäße unten erwärmen.

Die strahlende Wärme oder die andere Art der Fortpflanzung wirkt in gewissen Entfernungen. Wir empfangen die Wärme von der Sonne durch Strahlen, ohne daß die höheren Luftschichten erwärmt werden, indem sie die vermittelst der Strahlen durch sie hindurchgehende Wärme nicht verschlucken. Wir nehmen dieses schon wahr, wenn wir uns dem Feuer eines Herdes nähern; während wir eine brennende Hitze empfinden, wenn uns die

Strahlen treffen, ist die Luft zwischen uns und dem Feuer nicht von einer so hohen unerträglichen Temperatur. Heiße Körper strahlen von ihrer Oberfläche nach allen Seiten hin Wärme aus, und daher sind die Wärmestrahlen in der Beziehung, daß sie durch die Luft hindurch gehen, den Lichtstrahlen zu vergleichen.

Von der strahlenden Wärme kann man sich sehr leicht überzeugen, wenn man zwei Hohlspiegel von Messing so einander gegenüberstellt, daß die Achsen beider Spiegel in eine Linie fallen; bringt man alsdann *(Fig. 67.)* in den Brennpunkt des einen

Fig. 67.

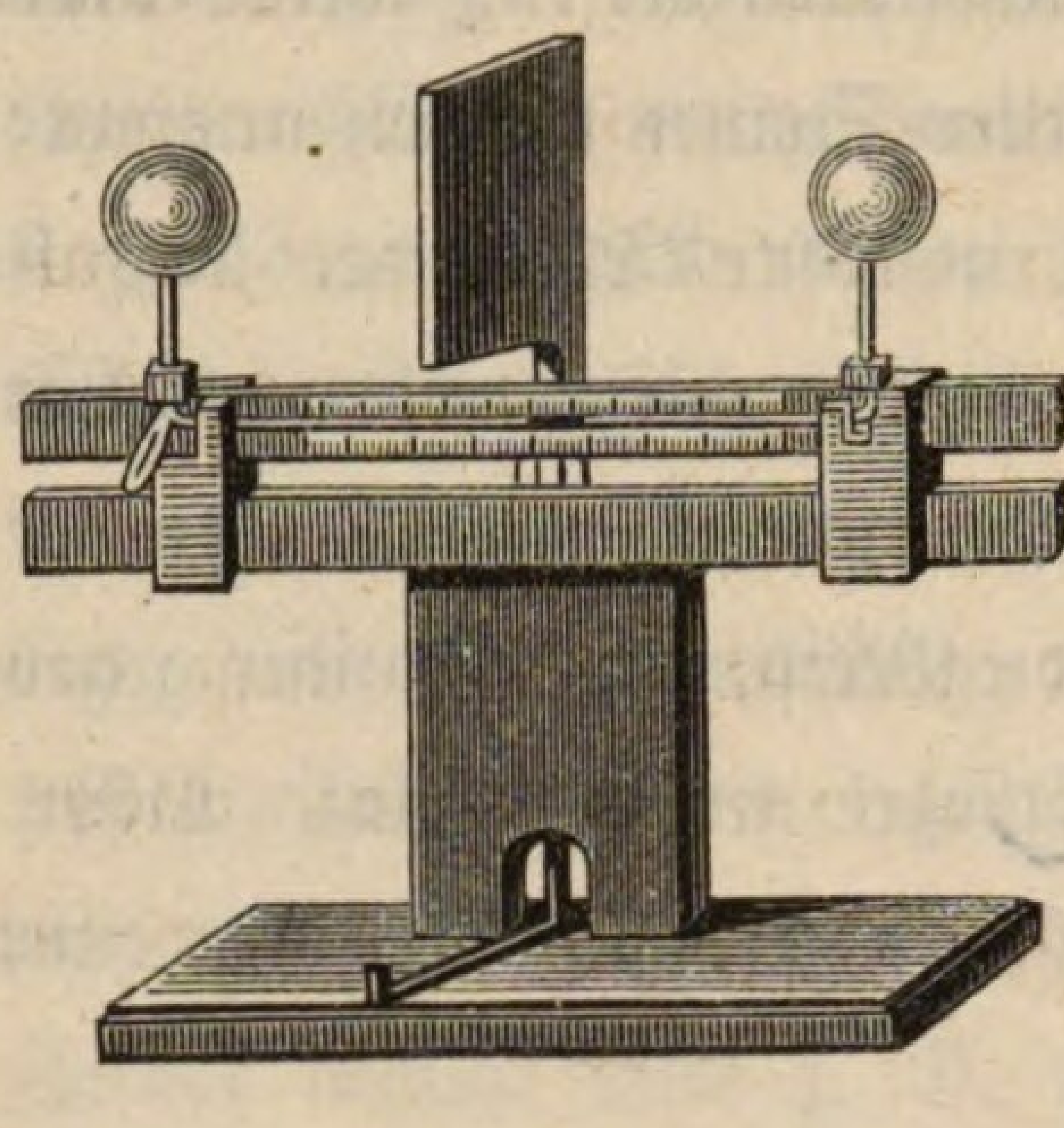


Spiegels ein Stück eines leicht entzündlichen Körpers, z. B. ein Stück Zunder und in den andern Brennpunkt eine in lebhaftem Glühen unterhaltene Kohle, so wird sich das Stückchen Zunder vermöge der von der Kohle ausgehenden Strahlen entzünden.

Selbst wenn man eine erhitzte Kugel in den Brennpunkt bringt, wird man sich von der strahlenden Wärme überzeugen können; man wird wenigstens bemerken, daß, wenn man ein Thermometer in den entgegengesetzten Brennpunkt hält, jenes um Bedeutendes abweicht.

Um die Stärke des Ausstrahlungsvermögens zu erfahren, hat man verschiedene Instrumente construirt, die in hohem Grade empfindlich sind. Als solche einfachere Art sind besonders die Differential-Thermometer von Rumford und Leslie zu erwähnen. Das von Rumford construirte Thermometer ist in *(Fig. 68)*

Fig. 68.



abgebildet und besteht aus zwei Glaskugeln, welche durch eine mit etwas gefärbtem Weingeist gefüllte Glasröhre verbunden sind. Der Weingeist wird bei Erwärmung der einen Kugel durch den stärkern Druck der darin befindlichen Luft nach der andern hingetrieben und so wird man sich von der Einwirkung der strahlenden Wärme überzeugen. In ähnlicher Weise ist das Thermometer von Leslie eingerichtet; nur sind die Kugeln desselben ein wenig kleiner.

Absorption. Wenn die Körper Wärmestrahlen von einem andern empfangen, so werden diese von jenen verschluckt, und zwar ist dieses Vermögen mehr oder weniger allen Körpern eigen, denn ein jeder Körper, wenn wir ihn den Sonnenstrahlen aussetzen, nimmt eine gewisse Temperatur an; daß diese aber bei den Körpern ungleich ist, geht schon daraus hervor, weil sie auch ein verschiedenes Ausstrahlungsvermögen haben, und die Ausstrahlung direct zur Verschluckung in Beziehung steht, denn je mehr Wärme ein Körper verschluckt, desto mehr vermag er auch auszustrahlen. — Von der Ungleichheit des Vermögens, Wärme zu verschlucken, kann man sich sehr leicht überzeugen, wenn man eine Thermometerkugel mit Lampenruß geschwärzt, den Sonnenstrahlen aussetzt; diese wird bald höher steigen, als eine andere mit ungeschwärzter Kugel. Das stärkste Absorptionsvermögen zeigt der Ruß; will man also einen Körper recht stark erwärmen, so braucht man ihn nur mit Ruß zu überziehen.

Zurückwerfung. Aus dem Gesagten ergiebt sich, daß, da die Körper ein ungleiches Absorptionsvermögen besitzen, diese nicht immer alle sie treffenden Strahlen verschlucken, weshalb

die übrigen zurückgeworfen werden müssen. Von diesem Zurückwerfungsvermögen kann man sich leicht überzeugen, wenn man einen Spiegel von polirtem Messing den Sonnenstrahlen aussetzt; man wird alsdann bemerken, daß der größte Theil der einfallenden Strahlen zurückgeworfen wird, und der Spiegel sich selbst fast gar nicht erwärmt, denn das Absorptionsvermögen blanker Metallflächen ist, wie erwähnt, sehr gering, folglich muß das Zurückwerfungsvermögen groß sein. Je geringer das Absorptionsvermögen, desto größer ist das Zurückwerfungsvermögen der Körper.

Diathermansie. Die Körper haben die Eigenschaft, die Wärme auszustrahlen, zu verschlucken, und zurückzuwerfen, aber es giebt auch viele Körper, welche, wie die durchsichtigen, das Licht durchlassen, auch Wärmestrahlen durchlassen, und man hat daher diejenigen Körper, welche sich so verhalten, diathermane genannt, im Gegensatz zu jenen, welche die Wärme aufhalten und als athermane bezeichnet werden. Hiernach ist also die Luft diatherman, und ebenso manche feste und flüssige Körper, die es nicht zu sein scheinen, wie z. B. Alaun, Flußspath, krystallisirter Gyps u. s. w.

Einfluß der Wärme auf den Aggregat-Zustand der Körper.

Die angehäuften kleinen Theilchen oder Aggregate einer Materie treten in festen, flüssigen und gasförmigen Formen auf, welche durch die Wärme verändert werden können. Geht nun ein fester Körper in Folge des Einflusses der Wärme in den flüssigen Zustand über, so nennt man diese Veränderung Schmelzung; jedoch können auch feste Körper durch Verdunstung in den flüssigen Zustand übergehen. Geht ein flüssiger Körper in den festen Zustand über, so nennt man die Erscheinung „Erstarrung;“ den

Uebergang aus dem gasförmigen Zustand in den flüssigen „Verdichtung oder Condensation."

Die Erscheinung der Schmelzung hängt von einer bestimmten Temperatur ab, welche der Körper zum Uebergange vom festen Zustande in den flüssigen nöthig hat. Die Temperatur ist aber nicht für alle Körper dieselbe, denn einige sind schon bei einer niedrigen Temperatur schmelzbar und erfordern daher wenige Wärmegrade, während andere erst bei einer hohen Anzahl von Graden diese Veränderung erleiden, so sind z. B. Eis, Fette, Schwefel u. s. w. weit leichter schmelzbar als Metalle. Manche Körper und namentlich organische zersetzen sich durch den Einfluß der Wärme, ehe sie schmelzen. Leicht schmelzbar sind folgende Substanzen:

Gelbes Wachs	schmilzt	bei	61°
Phosphor	„	„	45°
Schwefel	„	„	109°
Zinn	„	„	230°
Blei	„	„	334°
Zink	„	„	360°

Schwerer schmelzen dagegen Silber, Gold, Eisen, Kupfer u. s. w.

Silber	schmilzt	bei	1000°
Kupfer	„	„	1091°
Gold	„	„	1250°
Gußeisen	„	„	1200°
Gehämmertes, engl. Eisen			1600°

Besonders bemerkenswerth ist, daß ein Körper, wenn er in den flüssigen Zustand übergeführt wird, bis zu einer bestimmten Temperatur fest bleibt, und erst dann, wenn er dieser ausgesetzt ist, flüssig zu werden beginnt; diesen Punkt, bei welchem der Uebergang aus dem festen Zustand in den flüssigen erfolgt, nennt man den Schmelzpunkt, welcher für jeden Körper, der die

Schmelzung erleidet, beständig ist. Man beobachtet aber auch, daß sich während des Schmelzens die Temperatur nicht ändert, wie viel Wärme auch dem Körper zugeführt werden mag. Es muß demnach eine gewisse Quantität Wärme, die nicht durch das Thermometer bemerkbar ist, verschluckt werden.

Früher glaubte man, daß ein ins Schmelzen gebrachter Körper nicht mehr Wärme in sich aufnehme, als durch das Thermometer zu ermitteln sei, bis durch Black im Jahre 1763 nachgewiesen wurde, daß eine gewisse Wärmemenge in den Körper übergeht, und von demselben verschluckt wird, um zu schmelzen. Man nennt daher diese unbemerkbare Wärmemenge, welche als verborgen und als gebunden zu betrachten ist „latente Wärme.“

Diese latente Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wird, entweicht beim Erstarren der Körper wieder, und daher ist dieselbe als die Zahl der Wärmeeinheiten zu betrachten, welche von einem Körper in dem Augenblick der Veränderung seines Aggregatzustandes verschluckt oder entwickelt wird.

Zur Ueberzeugung hiervon kann man ein Gefäß mit Schnee von 0° und ein zweites mit Wasser von 0° in Wasser stellen; man wird alsdann bemerken, daß die Temperatur in dem ersten Gefäß nicht eher steigt, bis sämmtlicher Schnee geschmolzen ist, während die Temperatur des Wassers sogleich zunimmt. Mischt man nun 1 Pfd. Eis von 0° mit 1 Pfd. Wasser von 75°, so schmilzt der Schnee vollständig und man erhält 2 Pfd. Wasser von 0° Temperatur. Das heiße Wasser von 75° wird also bis auf 0° abgekühlt und theilt dem Schnee die 75° mit, um in Wasser von 0° umgewandelt zu werden. Die Wärmemenge wird folglich nur verschluckt und ist als latente Wärme zu betrachten, da keine Erhöhung der Temperatur erfolgt. Läßt man nun das Wasser gefrieren, so wird die Wärme wieder frei.

Erwähnenswerth ist aber auch, daß, wenn ein Körper mit

Hülfe eines chemischen Processes ohne Zuführung von Wärme schmilzt, Kälte entsteht; während beim Schmelzen eines Körpers ebenfalls dasselbe stattfindet, wenn ein fester Körper durch Auflösung in den flüssigen Zustand umgewandelt wird. Wirft man z. B. ein leicht lösliches Salz in Wasser und bewerkstelligt die Auflösung durch Umrühren, so wird die Temperatur des Lösungsmittels sinken. Mischt man Schnee von — 10⁰ und Kochsalz von — 10⁰ miteinander, so entsteht eine flüssige Salzlösung, deren Temperatur sinkt, indem viel Wärme gebunden wird. Hierauf beruhen die sogenannten Kältemischungen.

Werden z. B. 5 Theile Salmiak und 5 Theile Salpeter feingestoßen in 10 Theilen Wasser aufgelöst, so sinkt die Temperatur von + 10⁰ auf — 12⁰. Wird gepulvertes Glaubersalz mit Salzsäure übergossen, so sinkt die Temperatur von + 10⁰ auf — 17⁰. Bei einer Mischung von 3 Theilen salzsaurem Kalk und 2 Theilen Schnee von 0⁰ auf — 28⁰; von verdünnter Schwefelsäure und Schnee zu gleichen Theilen wird die Temperatur sogar von — 7⁰ bis — 51⁰ erniedrigt.

Entzieht man dem flüssigen Körper die erforderliche Wärme, so erfolgt die der Schmelzung entgegengesetzte Erstarrung. Der Punkt, bei welchem dieser Uebergang stattfindet, fällt nahe mit dem Schmelzpunkte zusammen, so daß die Temperatur immer nur ein wenig geringer ist, als die des letztern. Eine wesentliche Erscheinung beim Erstarren ist außerdem die, daß die latente Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wurde, wieder frei wird. — Der Erstarrungspunkt des Zinn's liegt z. B. bei 228⁰, während der Schmelzpunkt 230⁰ entspricht; der Erstarrungspunkt des Blei's liegt bei 325⁰, während der Schmelzpunkt 334⁰ entspricht.

Die Erscheinung des Freiwerdens der latenten Wärme beim

Uebergange eines flüssigen Körpers nimmt man sehr schön auf folgende Weise wahr.

Man fülle einen kleinen Glaskolben, *(Fig. 69)* welcher 12—14 Loth Wasser zu fassen vermag, und mit einem weiten Halse versehen ist, mit gestoßenem, krystallisirten, unterschwefligsauren Natron. Bei vorsichtiger Erhitzung schmilzt das Salz bei einer Temperatur von 45° R. in seinem Krystallwasser, und bei fortgesetztem Erwärmen geräth das Salz in's Sieden. Hat man dies erreicht, so verschließt man das Kölbchen mit einem guten Kork und stellt es, um es langsam abkühlen zu lassen, auf einen schlechten Wärmeleiter. Nach einigen Stunden ist das Kölbchen nebst Inhalt bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet, ohne daß das Salz erstarrt, wenn man es vor Erschütterung bewahrt; nimmt man nun aber den Kork mit Vorsicht ab, und taucht die eine Thermometerkugel bis unter die Oberfläche der Flüssigkeit ein, so geht die Krystallisation in vollem Maße vor sich, und das Thermometer steigt um 18—20°. Uebrigens kann man sich auch einen Beweis liefern, wenn man Wasser unter 0 bis zu 5° erkältet. Geschieht dieses bei vollkommener Ruhe, so wird das Wasser nicht gefrieren, schüttelt man es aber, so wird 1 Thl. desselben erstarren, und das übrige Wasser hat die Temperatur von 0°.

Fig. 69.



Diese Temperaturerhöhung des übrigen Wassers ist ein Beweis, daß die gebundene Wärme in dem Augenblick frei geworden ist, in welchem ein Theil die feste Gestalt annahm.

Das Sieden und Verdunsten. Wird in einem Gefäß Wasser erhitzt, so bilden sich im Anfange Luftbläschen, welche entweichen; bei gesteigerter Temperatur aber bilden sich am Bo-

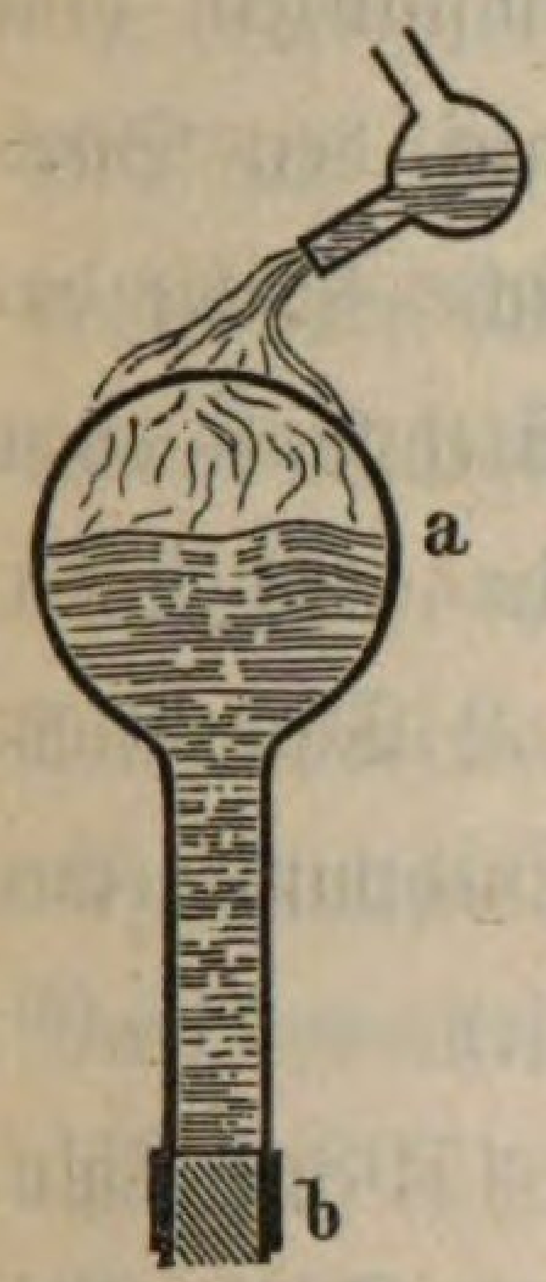
den des Gefäßes größere Bläschen, durch deren Zusammenziehen und Verschwinden das eigenthümliche Zischen oder Singen entsteht. Steigt aber die Temperatur noch höher, so steigen auch die Blasen, welche Dampf sind, höher und es entsteht eine wallende Bewegung in der Flüssigkeit, welche man gewöhnlich das Sieden nennt. Am besten kann man diese Erscheinung in einem Glasgefäß beobachten; man wird dann die Bildung und Vergrößerung der Bläschen, so wie die des Dampfes wahrnehmen können; letztere wird erst dann sichtbar, wenn er sich durch Vermischung mit kalter Luft zu Tropfen verdichtet.

Die Erreichung des Punktes, bei welchem eine Flüssigkeit in's Sieden geräth, ist von verschiedenen Einflüssen abhängig; so daß der ihr eigenthümliche Siedpunkt nicht wie der Schmelzpunkt eines Körpers beständig genannt werden kann, sondern je nach Umständen wechselt. Denn der Siedpunkt der Flüssigkeit ist nach dem Luftdruck, welcher ausgeübt wird, ein verschiedener. Eine Flüssigkeit wird um so schwerer in's Sieden gerathen, je bedeutender der Luftdruck ist; denn derselbe ist in verschiedenen Gegenden nicht immer gleich. Um sich zu überzeugen, wie sehr abhängig der Siedpunkt einer Flüssigkeit vom Druck der Luft ist, bringe man ein Gefäß mit Wasser von etwa $+ 30^0$ Temperatur unter den Recipienten einer Luftpumpe und vermindere den Luftdruck durch Auspumpen; man wird dann sehr bald wahrnehmen, daß, wenn der Druck 30 Millimetern gleich ist, das Wasser ebenso zu kochen beginnt, als ob es über loderndem Feuer stände. Das Sieden wird aufhören, sobald der Recipient mit Dampf angefüllt ist, weil dieser nun einen Druck auf die Flüssigkeit ausübt.

Um jedoch auf eine noch mehr auffallende Weise wahrzunehmen, wie sehr der auf der Flüssigkeit lastende Dampf das Sieden verhindert, bringe man Wasser in einem Glaskolben mit

langem Halse *(Fig. 70)* zum Sieden; nachdem man die Luft

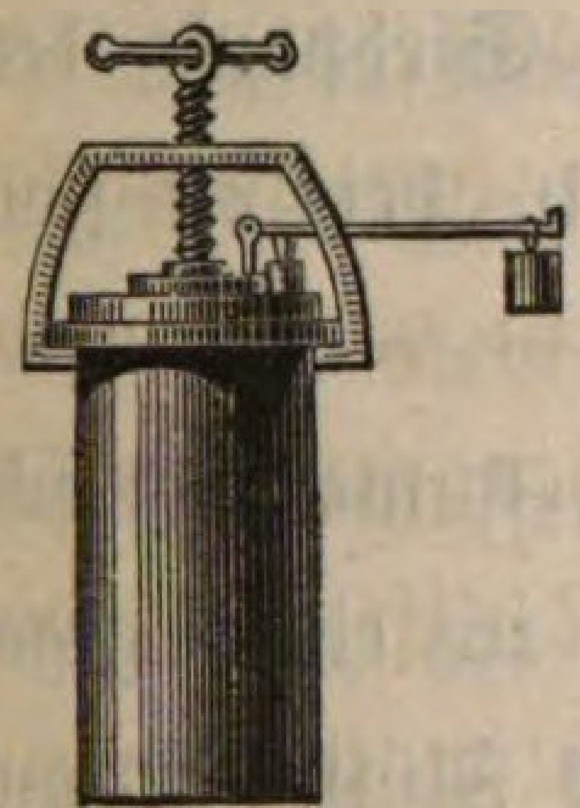
Fig. 70.



ausgetrieben und verkocht hat, kehre man ihn um und begieße den Kolben mit kaltem Wasser. So wie dieses geschieht, wird man bemerken, daß die Flüssigkeit, welche zuvor nicht kochte, in ein heftiges Sieden geräth, weil nun der sich bildende Dampf sich verdichtet, und dadurch der von diesem hervorgebrachte Druck vermindert wird.

Vermehrt man den Druck, welcher auf die Flüssigkeit ausgeübt wird, so wird das Kochen verzögert, und dieses bei ausreichendem Druck sogar ganz verhindert. In dieser Weise geschieht

Fig. 71.



es z. B., in dem in *(Fig. 71.)* abgebildeten Papin'schen Topf, welcher von dem Gelehrten Papin im 17. Jahrhundert ersonnen wurde. Derselbe ist von starkem Kupfer oder Messing verfertigt und durch ein Sicherheitsventil verschlossen, welches mit bedeutendem Gewichte belastet werden muß. In diesem Apparate kann man sehr hohe Temperaturen des Wassers hervorbringen, weil das Kochen durch den sich fortwährend bildenden Dampf, welcher einen bedeutenden Druck ausübt, verzögert wird; denn die zuströmende Wärme geht in das Wasser ein, während sonst beim Kochen in der freien Luft immer ein Theil desselben als latente Wärme von dem sich bildenden Dampf verschluckt wird; beim Öffnen des Apparats strömt der Dampf mit größter Heftigkeit aus, und die Temperatur sinkt um ein Beträchtliches, weil nun eine bedeutende Menge Wärme von dem sich bildenden Dampf gefunden wird. Außer dem Druck hat auch die Flüssigkeitssäule einen Einfluß auf die Theilchen einer Flüssigkeit, denn die in derselben aufsteigenden Blasen

haben auch den Druck der Flüssigkeit, welcher sich über ihnen befindet, zu besiegen, um emporsteigen zu können.

Besonders zu beachten ist, daß fremde Substanzen, dem Wasser beigemengt, einen wesentlichen Einfluß auf den Siedpunkt ausüben, denn sämmtliche in Wasser lösliche Salze erhöhen den Siedpunkt desselben, so ist z. B. der Siedpunkt einer Lösung von 48,5 Thln. kohlensaurem Natron in 100 Thln. Wasser = 104,6°; der reinen Kochsalzlösung (41,2 Thle. Kochsalz in 100 Thln. Wasser) = 108,3°; der Siedpunkt einer Lösung von 335 Thln. Salpeter in 100 Thln. Wässer = 115,9°; der Siedpunkt einer Lösung von essigsaurem Kali (798,2 Thln. dieses Salzes in 100 Thln. Wasser) = 169°. Diese Beispiele werden genügen, um zu beweisen, wie sehr der Siedpunkt je nach der Substanz abweichend ist, denn der Siedpunkt des Wassers ist ja bei gewöhnlichem Luftdruck d. h. bei 28 Zoll Barometerstand 100°.

Eine wesentliche Bedingung für das Kochen, namentlich für die Schnelligkeit des Kochens ist aber auch, daß in einer gegebenen Zeit hinreichende Wärme zuströme, um die Flüssigkeit auf dem Siedpunkte zu erhalten; diese Zuströmung von Wärme steht zu der durch die Dampfbildung verschluckten latenten Wärme im Verhältniß, die bedeutender ist, als die Menge, welche in die Flüssigkeit übergeht. Da nun aber, wenn einmal die Flüssigkeit im Sieden begriffen ist, die Temperatur dieselbe bleibt, wenn für die Dampfbildung hinreichend Wärme zugeführt wird, so wird ein heftigeres Feuer, mit welcher Lebhaftigkeit man es auch anwenden mag, die Flüssigkeit nicht heißer machen, wovon man sich mit Hülfe des Thermometers leicht überzeugen kann; man wird wahrnehmen, daß nur die Temperatur des der Flüskeit eigenthümlichen Siedepunkts, je nach dem einwirkenden Luftdruck zu erreichen ist. Daraus geht also hervor, daß, wenn

eine Flüssigkeit einmal siedet, die Anwendung von stärkerem Feuer überflüssig ist und daß eine Flüssigkeit, wenn man sie auf sehr heftigem Feuer sieden ließ, nicht heißer wird, als wenn dies auf mäßigem Feuer geschah. Trotz der fortwährend zuströmenden Wärme wird aber auch die Temperatur des sich bildenden Dampfes nicht höher, als der Siedpunkt des Wassers; die Wärme muß also in die Flüssigkeit übergehen, und sie in Dampf verwandeln, ohne die Temperatur zu erhöhen. Diese verschwindende Wärme wird allgemein als latente Wärme des Dampfes und zwar beim Wasserdampfe zu ungefähr 54^0 angenommen, d. h. der Wasserdampf bildet soviel Wärme, als nöthig ist, um die Menge des verdampfenden Wassers auf 54^0 zu erhöhen.

Die Zuführung der Wärmemenge aber, welche zur Dampfbildung in einer gewissen Menge erforderlich ist, und in einer gegebenen Zeit in die Flüssigkeit übergehen kann, hängt übrigens noch von mehreren Umständen ab, nämlich sowohl von der Wirksamkeit der Feuerstelle und der Natur des angewandten Feuermaterials, als auch von der Natur und Stärke der Gefäßwände.

Manche Flüssigkeiten gerathen selbst bei Berührung mit glühenden Metallflächen nicht in's Kochen; läßt man z. B. einen Wassertropfen auf ein glühendes Eisen oder eine kleine Schale von Platina, welche ebenfalls bis zum Rothglühen erhitzt ist, fallen, so zeigt derselbe durchaus keine Adhäsion zur Oberfläche des Metalls, sondern nimmt in seiner kugelförmigen Gestalt eine rotirende Bewegung an, ohne in's Kochen zu gerathen.

Erst dann, wenn die Metallfläche sich abzukühlen beginnt, erfolgt ein rasches Sieden und Verdunsten, welches oft mit einem plötzlichen Knall vor sich geht. Dieser Versuch, welchen Leidenfrost zuerst anstellte, spricht dafür, daß unter solchen Umständen keine innige Berührung zwischen dem Wassertropfen und der Metallfläche stattfindet, sondern eine förmliche Abstoßung

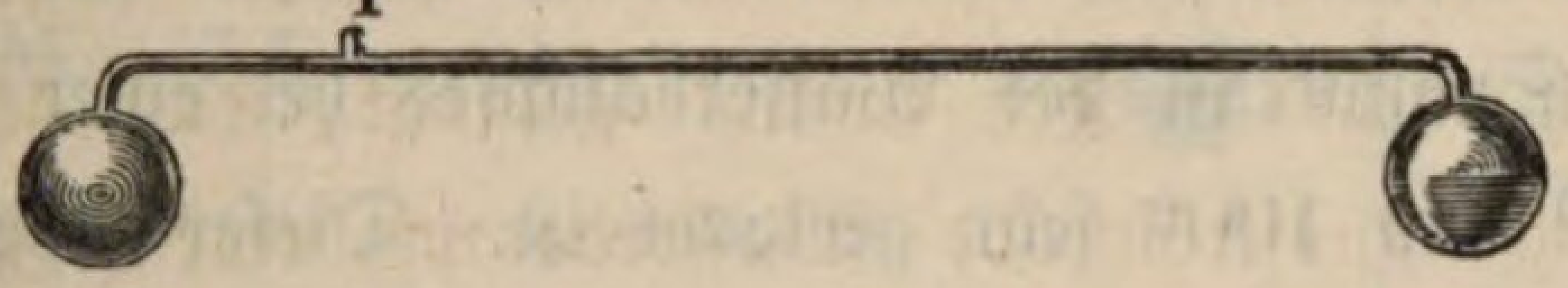
ihre Wirkung geltend macht, die in der strahlenden Wärme der glühenden Metallfläche ihren Grund haben. Neuerdings ist man jedoch mehr zu der Ansicht gelangt, daß der durch die Verdunstung ausströmende Wasserdampf einen Zwischenraum zwischen der Metallfläche und dem Tropfen bedingt.

Während das Kochen darin besteht, daß sich auch im Innern der Flüssigkeit Dampf bildet, nennt man die Bildung des Dampfes an der freien Oberfläche Verdunstung.

Bei jeder Temperatur erfolgt eine solche Bildung von Dampf an der Oberfläche der Flüsse, Seen, des feuchten Bodens u. s. w. So schwach nun die Spannkraft des Dampfes auch ist, so beobachten wir dennoch täglich, daß dieser Wasserdampf in der Luft verbreitet ist, wiewohl man nicht glauben sollte, daß derselbe den Druck der atmosphärischen Luft überwinden könnte. Jedoch mischt sich der Wasserdampf sehr leicht mit der atmosphärischen Luft, wenn die umgebenden Luftschichten nicht mit Dampf gesättigt sind. Daher rührt es denn auch, daß, wenn die Luft in heftiger Bewegung ist, die Verdunstung weit rascher vor sich geht, als wenn wir eine ruhige Atmosphäre haben, weil der Flüssigkeit immer neue ungesättigte Luftschichten zugeführt werden. Die Verdunstung hängt aber nicht allein von der Bewegung der Luft ab, sondern auch von der Spannung des sich entwickelnden Dampfes und der des bereits in der Luft vorhandenen und endlich unter übrigens gleichen Umständen vorzugsweise von der Größe der Oberfläche der Flüssigkeit.

Durch eigene Verdunstung läßt sich Wasser zum Gefrieren bringen, wozu Wollaston's Kryophor sich sehr gut eignet. Derselbe besteht, wie *(Fig. 72)* zeigt, aus zwei Glaskugeln, welche mit einander verbunden sind; in eine jede dieser Glaskugeln bringt man ein wenig Wasser und treibt durch Kochen die Luft

Fig. 72.



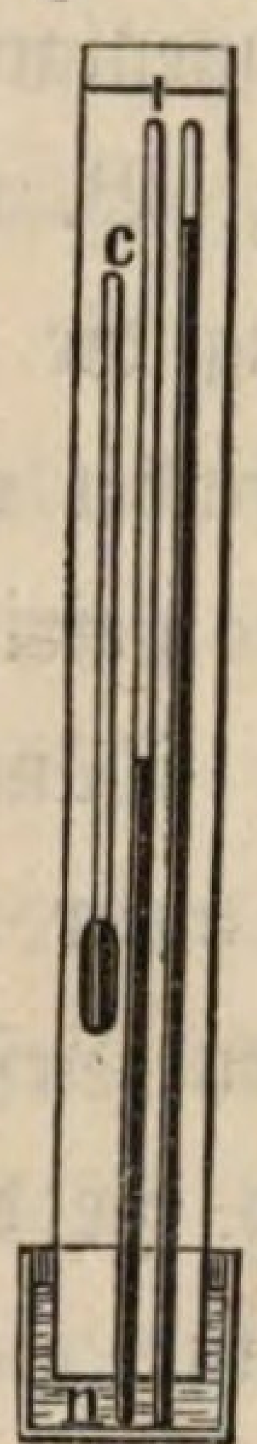
aus; nachdem dies geschehen, schmilzt man die an der Glasröhre bei r befindliche Oeffnung mit Hülfe eines Löthrohrs zu. Alsdann läßt man alles Wasser in einer Kugel zusammenlaufen und bringt die leere Kugel in eine Kältemischung, z. B. von Eis und Salmiak. Da nun durch diese Kältemischung die sich entwickelnden Wasserdämpfe sich immer verdichten, so findet eine solche rasche Verdunstung des Wassers statt, daß dasselbe gefriert.

Die beim Sieden und Verdunsten entstandenen Dämpfe dehnen sich aus, sobald sie erwärmt werden und nicht mehr mit der Flüssigkeit in Verbindung stehen; sie sind demselben Gesetze unterworfen, welchem die beständigen Gase folgen, d. h. sie dehnen sich bei gleichem Luftdruck und gleicher Temperatur gleich viel aus. Ist aber noch Flüssigkeit vorhanden, mit der sie sich in Berührung befinden, so bildet sich bei fortgesetztem Erhitzen immer von Neuem Dampf, welcher die Elasticität vermehrt, wozu außer der Wärme namentlich die dazu beitretende Dichte beiträgt, während bei verminderter Temperatur auch die Elasticität geringer wird, wo sich der Dampf theilweise tropfbar flüssig absetzt. Das Streben des Dampfes, sich auszudehnen, ist so groß, daß die kleinste Menge in einem geschlossenen leeren Raume diesen nach allen Richtungen hin auszufüllen sucht, und auf sämmtliche Theile der Wände einen gleichförmigen mehr oder weniger bedeutenden Druck ausübt, welcher von dem Grade der Spannkraft des Dampfes abhängt, weswegen man auch die, jenen Druck hervorrufende Kraft die Spannkraft des Dampfes nennt.

Die Spannkraft bei verschiedener Temperatur, von der sie

bei eingetretener Sättigung nur abhängt, zu messen, ist von Dalton ein Apparat ersonnen worden, welcher für die Bestimmung der Spannkraft des Wasserdampfes bei einer Temperatur zwischen 0° und 100° sehr geeignet ist. Dieser Apparat besteht aus zwei Barometerröhren, *(Fig. 73)* welche beide in dasselbe Gefäß eingetaucht sind; die eine derselben stellt ein vollständiges Barometer dar und in der andern befindet sich über dem Quecksilber ein wenig Wasser oder ein kleiner Theil irgend einer andern Flüssigkeit, von der man die Spannkraft ihres Dampfes bestimmen will. Wird nun das in dem Glasgefäße n befindliche Wasser, welches beide Röhren umgiebt, erwärmt, so bestimmt man die zwischen 0° und 100° liegende Temperatur, welche für dieses Wasser und den sich bildenden Wasserdampf gleich ist, durch das angebrachte Thermometer unter c und mißt dann genau den Unterschied zwischen den Höhen in den beiden Röhren, wodurch dann die Spannkraft des Dampfes geliefert wird.

Fig. 73.



Für die Bestimmung der Spannkraft des Dampfes über 100° läßt sich der in *(Fig. 74)* abgebildete Apparat benutzen, dessen Barometerröhre m r o theilweise mit Quecksilber gefüllt ist, und eine kleine Portion der zu verdunstenden Flüssigkeit enthält. Der Wasser enthaltende Ballon S, in welchen die Röhre o hineinragt, wird nun erhitzt und die Temperatur des Wassers durch das Thermometer bestimmt, wodurch alsdann zugleich die des Dampfes in m r o gegeben ist. Je elastischer nun der Dampf ist, desto höher steigt die Quecksilbersäule in der Barometerröhre und giebt daher die Spannkraft des Dampfes an,

Um die Spannkraft des Dampfes unter 0° zu bestimmen, läßt sich eine mit einer Kugel versehene Glasröhre *(Fig. 75)*

Fig. 74.

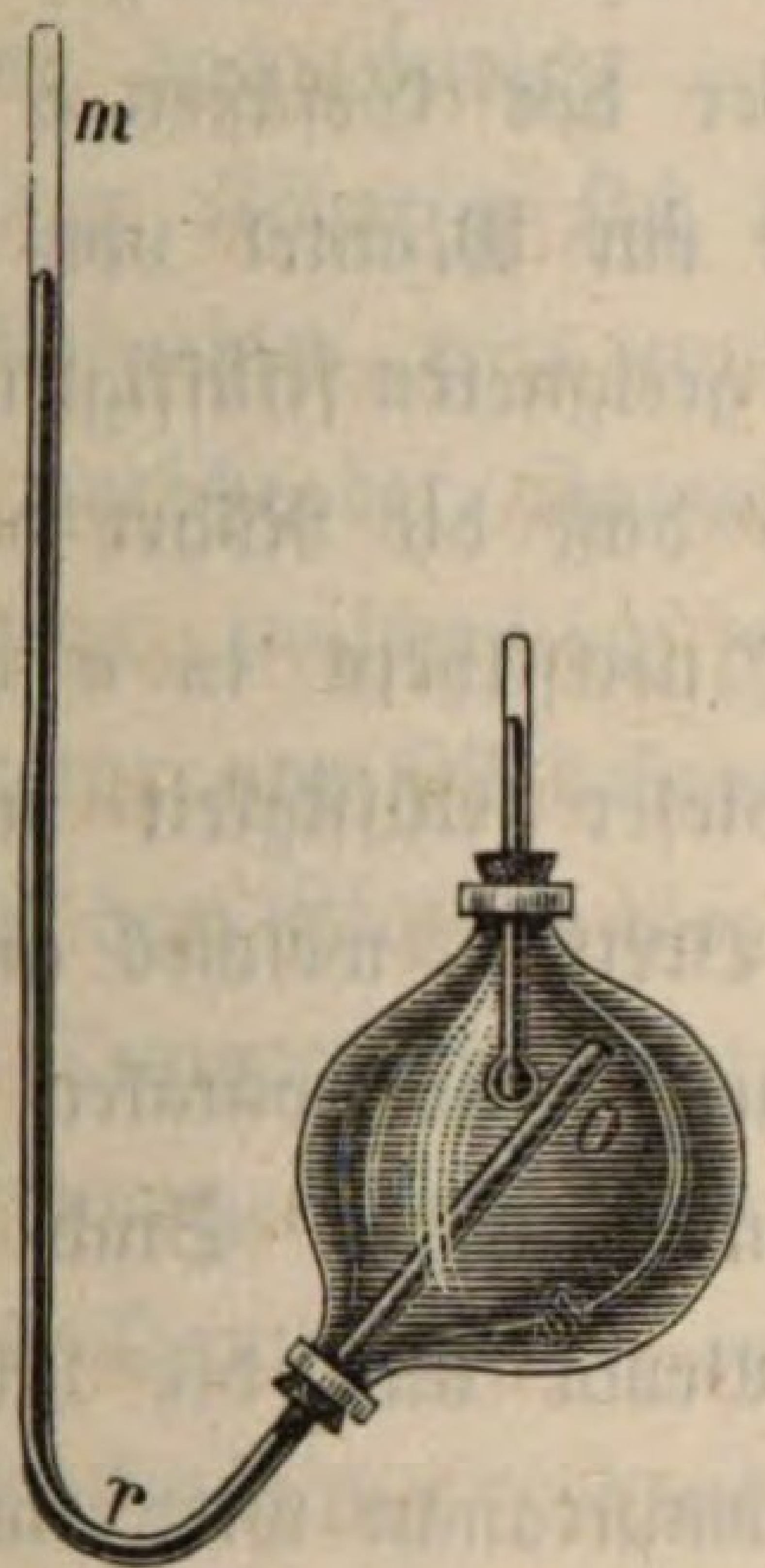
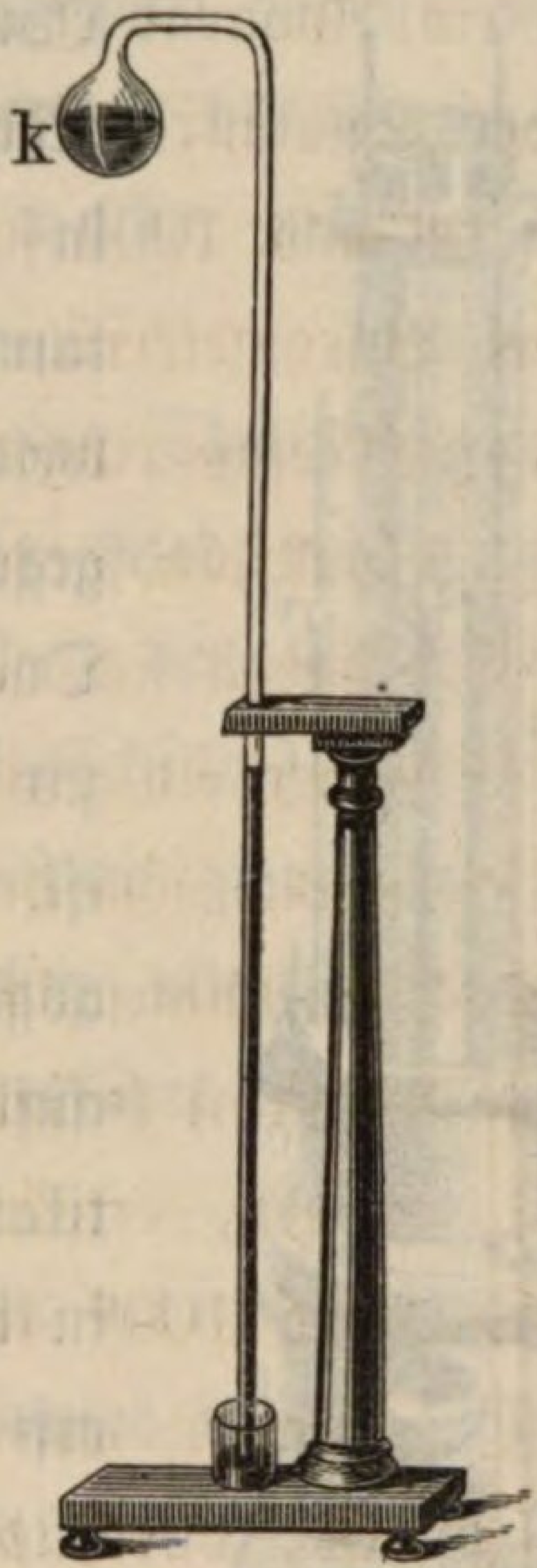


Fig. 75.

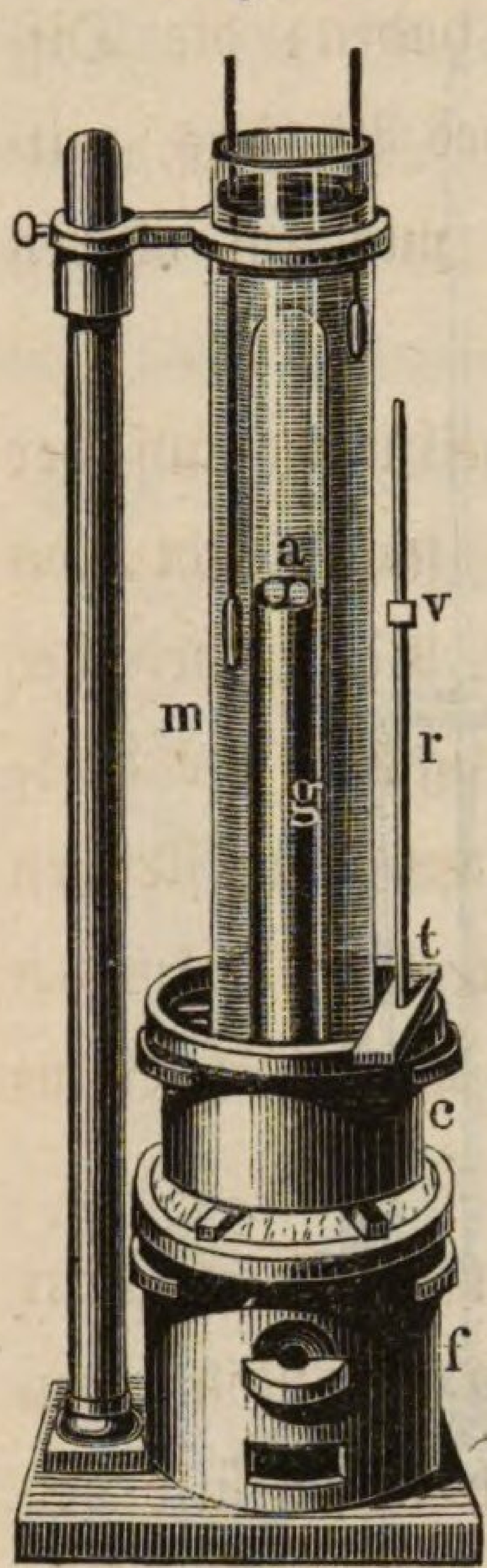


anwenden. Man bringt nämlich in der Kugel ein wenig Wasser zum Sieden, um die Luft aus dem Apparate zu entfernen, stellt alsdann die Röhre in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß und umgiebt die Kugel k mit einem Gemisch von Eis und Kochsalz. Durch Vergleichung der Höhe der Quecksilbersäule mit der in einer gewöhnlichen Barometerröhre wird ebenfalls die Spannkraft erfahren.

Die Dichtigkeit des Wasserdampfes und der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten.

Um die Dichtigkeit des Wasserdampfes zu bestimmen, muß man direct das Gewicht, das Volumen, die Temperatur und die Spannkraft einer gegebenen Menge Dampf zu ermitteln suchen. Es läßt sich dazu ein von Gay-Lussac eingerichteter und in *(Fig. 76)* abgebildeter Apparat benutzen. Auf einem Ofen f

Fig. 76.



steht ein gußeisernes Gefäß c, welches Quecksilber enthält; g ist eine graduirte Röhre von 3—4 Decimeter Länge, welche in das Quecksilber des Gefäßes c eingetaucht ist; m ist ein Mantel von Glas, welcher mit einer geeigneten Flüssigkeit vollgegossen wird, so daß die Röhre von der Oberfläche des Quecksilbers in c an bis zur Spitze mit dieser Flüssigkeit umgeben ist. Durch das Brett t, welches auf dem abgeschliffenen, genau horizontalen Rand aufliegt, geht ein getheilter Stab r vertikal hindurch. Bevor nun die Röhre g in das Gefäß c eingetaucht wird, muß sie erst mit Quecksilber so gefüllt werden, daß alle Luft ausgetrieben ist, daß also nach ihrem Umkehren und nach dem Eintauchen in Quecksilber die Röhre g noch vollständig mit Quecksilber gefüllt ist und an der Spitze sich keine Luftblase zeigt. Man läßt nun ein Glaskügelchen, welches, in eine feine Spitze ausgezogen, fast ganz mit Wasser gefüllt worden und dann zugeschmolzen ist, in der Röhre g in die Höhe steigen. Wenn man nun glühende Kohlen in den Ofen bringt, so wird Alles erwärmt.

Das Wasser in dem zugeschmolzenen Glaskügelchen dehnt sich aus und zersprengt seine Hülle. Es bilden sich dann sogleich Wasserdämpfe im oberen Theil der Röhre g und das Quecksilber sinkt. Man steigert nun die Temperatur so lange, bis alles Wasser vollständig verdampft ist, und erhält dann das Ganze auf einer beständigen Temperatur, während man die nöthigen Beobachtungen macht.

Ist alles Wasser verdampft, so wird man genau das Ge-

wicht des Dampfes kennen, denn das Glaskügelchen muß man vorher leer, dann mit Wasser gefüllt, gewogen haben; die Differenz dieser beiden Gewichte ist das Gewicht des Wassers, mithin auch das Gewicht des Dampfes, welcher nun im oberen Theile der Röhre g sich befindet.

Beobachtet man nun die Anzahl der Theilstriche auf der Röhre, welche der Dampf einnimmt, so wird man leicht, da der Raum zwischen je zwei Theilstrichen der Röhre bei der Temperatur von 0^0 bekannt ist, mit Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases, die Capacität zwischen zwei Theilstrichen für die Temperatur berechnen, bei welcher alle Beobachtungen gemacht worden sind. Auf diese Weise erfährt man das Volumen des Dampfes.

Zweckmäßig angebrachte Thermometer geben die Temperatur der Flüssigkeit in der Hülle und des Dampfes in der Röhre an.

Die Spannkraft des Dampfes wird endlich mit Hülfe des getheilten Stabes r beobachtet. Man schiebt diesen Stab so weit herunter, daß sein unteres Ende eben den Quecksilberspiegel im Gefäß c berührt, und dann rückt man den Schieber v genau in die Höhe der Quecksilberkuppe in der Röhre, so daß also die Quecksilberkuppe und der untere Rand des Schiebers in einer horizontalen Linie liegen. Die Höhe des Stabes von unten bis zu dem Schieber giebt die Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre. Wird diese Höhe auf 0^0 zurückgeführt und von dem auf 0^0 zurückgeführten Barometerstand abgezogen, so erhält man die Spannkraft des Dampfes.

Man kennt nun das Gewicht eines gegebenen Volumens Dampf, welcher bei bekannter Temperatur einen bekannten Druck ausübt und kann darnach leicht berechnen, wie viel eine bestimmte Menge Dampf wiegt.

Ist das Gewicht gleicher Volumina Luft und Wasserdampf

bei gleicher Temperatur und gleichem Druck bekannt, so kann man leicht das Verhältniß der Dichtigkeit des Wassers zur Dichtigkeit der Luft bestimmen. — Nach Gay-Lussac's Versuchen ist die Dichtigkeit des Wasserdampfs $^5/_8$ von der Dichtigkeit der Luft.

Der hier beschriebene Apparat kann auch zur Bestimmung der Dichtigkeit der Dämpfe anderer Flüssigkeiten benutzt werden, jedoch ist er nicht in allen Fällen ausreichend. Man wendet daher zweckmäßig zur Bestimmung des Dampfes folgendes Verfahren an. Ein Glasballon, welcher in eine im Winkel gebogene Spitze ausgezogen ist und die Form von *(Fig. 77 A)* hat, wird, nachdem derselbe mit trockner Luft gefüllt, und gewogen worden ist, mit der Flüssigkeit gefüllt, deren Dampfdichtigkeit man bestimmen will. Alsdann wird der Ballon vermittelst eines in *(Fig. 77 B.)* gezeichneten Halters befestigt, und im Wasser-, Oel- oder Chlorzinkbade erhitzt, jenachdem der Siedpunkt der Flüssigkeit ein höherer oder niederer ist. Der zur Ausführung nöthige Apparat, an welchem sich auch ein Thermometer, um die Temperatur ablesen zu können, befindet, ist in *(Fig. 77 C.)* bildlich dargestellt.

Fig. 77 A.

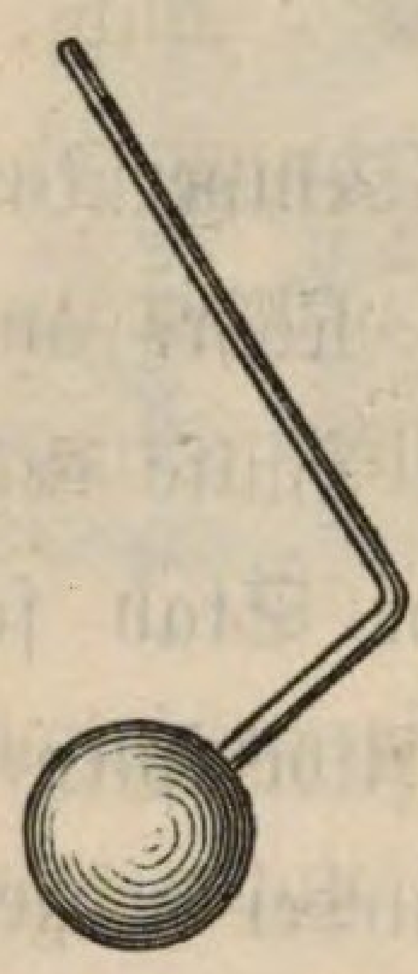
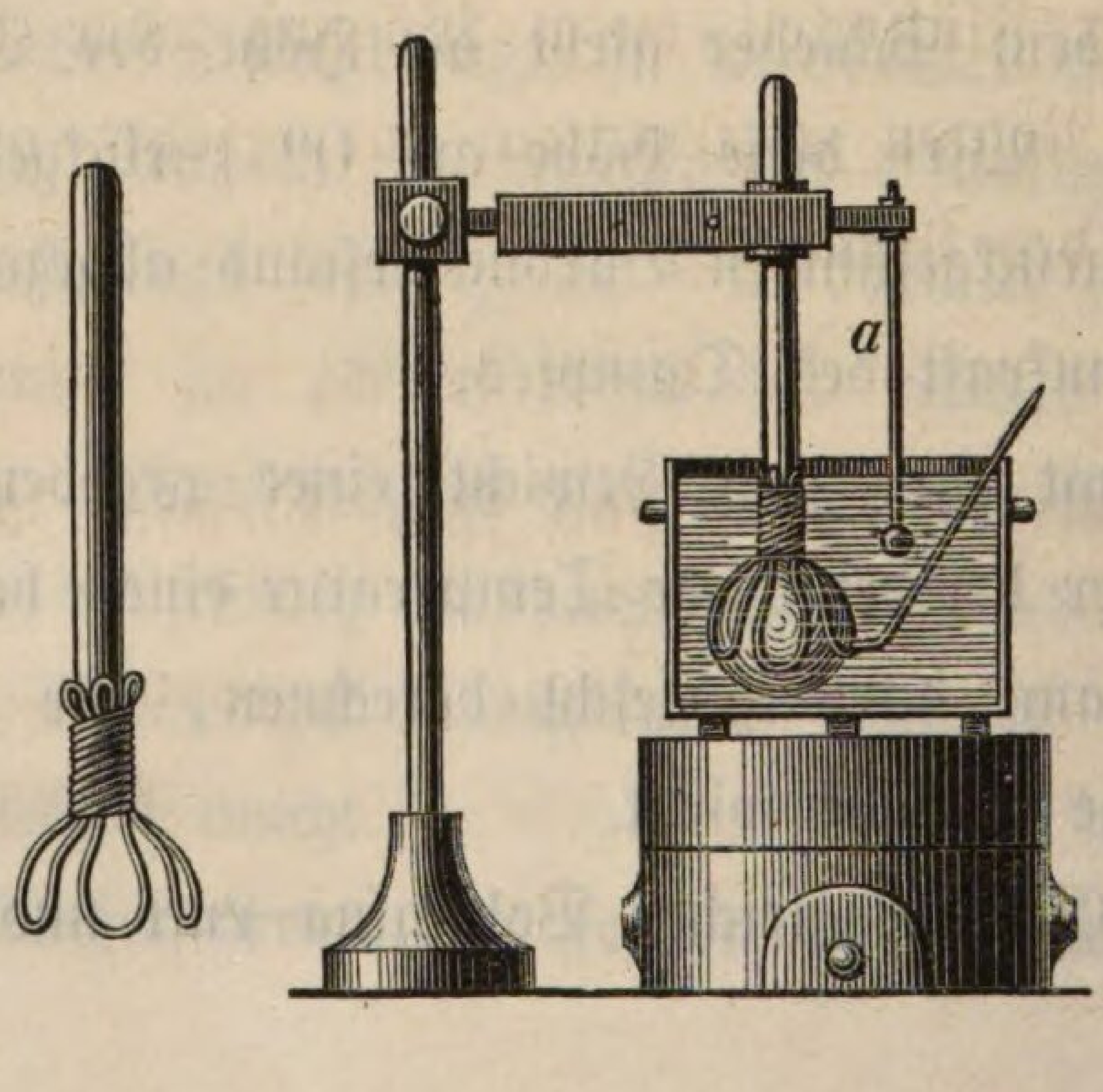


Fig. 77 B. und C.



Die Temperatur unterhält man während des Kochens der Flüssigkeit und des Ausströmens der Dämpfe aus der feinen Spitze, so hoch, daß sie diejenige der Flüssigkeit im Ballon ungefähr um 25—30⁰ übersteigt. Ist nun sämmtliche Flüssigkeit verdampft, und beginnt das Ausströmen des Dampfes nachzulassen, so schmelzt man die Spitze mit Hülfe des Löthrohrs zu. Während dieses geschieht, muß aber auch der Thermometerstand und der des Barometers notirt werden. Hierauf wird nun der mit Dampf angefüllte Ballon gewogen und das Gewicht mit jenem des mit trockner Luft gefüllten verglichen; der sich dadurch herausstellende Unterschied giebt dann natürlich an, wie viel der im Ballon befindliche Dampf mehr wiegt, als die vorher darin befindliche trockne Luft. Um also die Dichtigkeit des Dampfes zu ermitteln, hat man nur sein absolutes Gewicht durch das Gewicht eines gleichen Volumens Luft, von gleicher Temperatur und gleicher Ausdehnung, zu dividiren, wozu vor allen Dingen nothwendig ist, daß man weiß, wie viel der Ballon faßt.

Dieses ermittelt man sehr leicht, wenn man die geschmolzene Spitze in Wasser oder Quecksilber eintaucht und unter dem Spiegel der Flüssigkeit abbricht. Wegen der natürlicher Weise hierdurch erfolgenden Verdichtung der Dämpfe wird sich der Ballon mit Wasser oder Quecksilber füllen, und man hat daher die Menge der Flüssigkeit durch Wägung oder durch Messung in graduirten Röhren zu ermitteln und erfährt auf diese Weise das Volumen des Ballons.

Die Dichtigkeit oder das spec. Gewicht der Gase.

Um die Dichtigkeit der Gase zu bestimmen, muß man den Druck, welchen sie erleiden, und die Temperatur, welcher sie ausgesetzt sind, kennen. Denn die Dichtigkeiten zweier verschie-

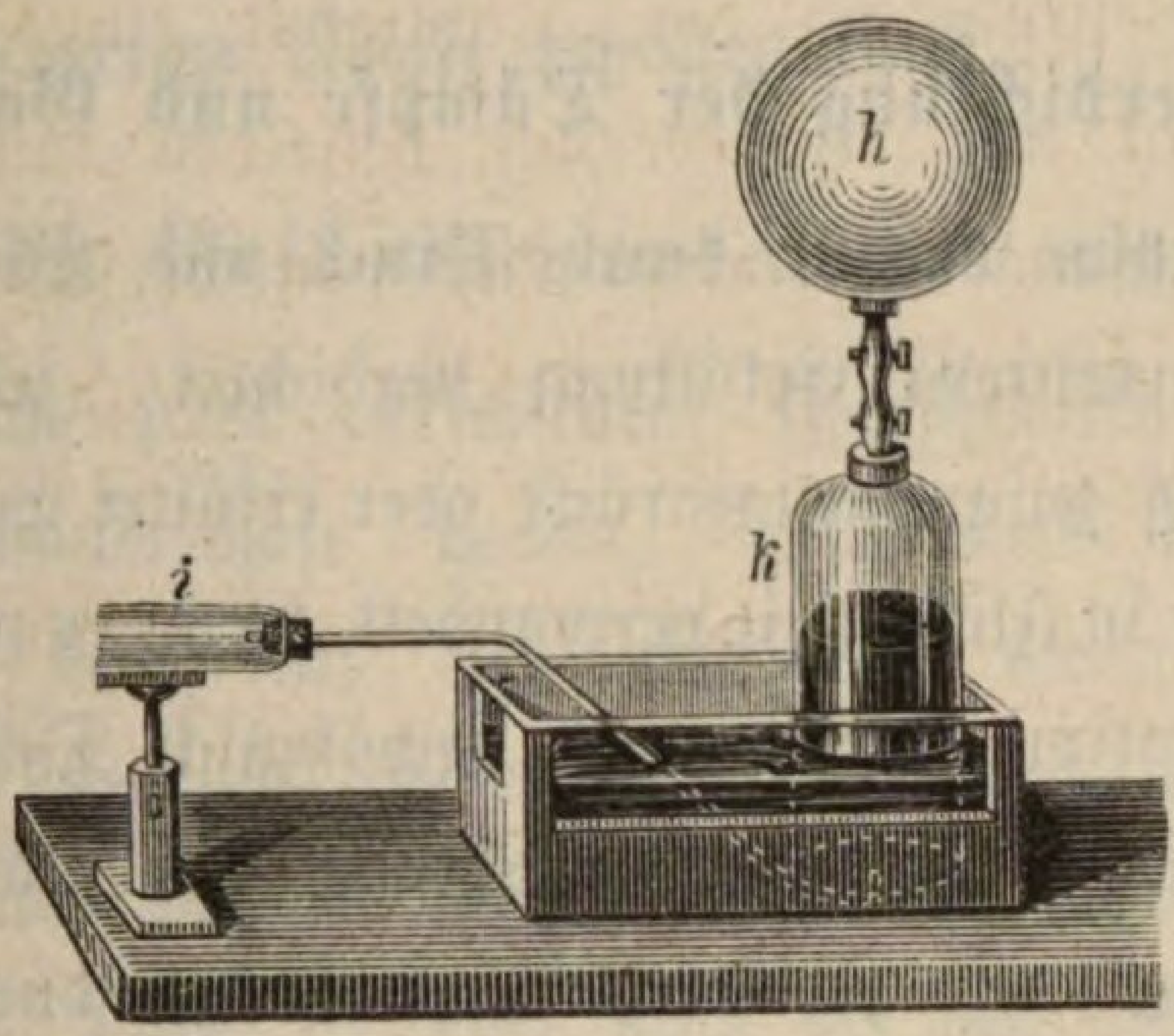
dener Gase stehen in demselben Verhältniß zu einander, wenn sie bei gleicher Temperatur gleichem Druck ausgesetzt sind.

Um die Bestimmung der Dichtigkeit eines Gases auszuführen, hat man nur das Gewicht desselben mit dem Gewicht eines gleichen Volumens trockner Luft von derselben Ausdehnung und gleicher Temperatur zu vergleichen, und zwar geschieht dies auf folgende Weise.

Man füllt einen Glasballon h, welcher mit einer Messingfassung, einem Schraubengewinde und Hahn, wie Fig. i zeigt, versehen ist, mit trockner Luft, indem man in denselben, nachdem er mit Hülfe einer Luftpumpe entleert worden war, vermittelst einer mit dem Ballon verbundenen Glasröhre l, welche mit Chlorcalcium angefüllt ist, die hierdurch getrocknete Luft hineinströmen läßt. Alsdann bringt man den Ballon mit trockner Luft auf die Wage und notirt den Zahlenwerth des sich ergebenden Gewichts. Nachdem dies geschehen, pumpt man den Ballon wieder leer und ermittelt durch die Wage das Gewicht des ausgepumpten Ballons. Nach Abzug dieser Zahl von der zuerst notirten erhält man die Summe der ausgepumpten Luft. Den leergepumpten Ballon hat man sodann mit dem Gase zu füllen, dessen Dichtigkeit man wissen will, welches man mit Hülfe einer Glasglocke k in einer pneumatischen Wanne über Quecksilber sehr leicht bewerkstelligen kann. Zu diesem Zweck setzt man die oben mit einer Messingfassung und einem Hahn versehene Glasglocke auf das in der Wanne befindliche Quecksilber und verbindet mit der Glocke nach Oeffnung des Hahns eine Handluftpumpe, um die Glocke luftleer zu machen.

Dieses Auspumpen wird so lange fortgesetzt, bis die Glocke ganz mit Quecksilber gefüllt ist; ist dieses geschehen, so schließt man den Hahn und setzt den in der *Fig. 78* abgebildeten Ballon auf die Glocke. Das sich entwickelnde Gas läßt man

Fig. 78.



nun, um es zu trocknen, durch ein Chlorkalciumrohr und eine dazu gebogene Glasröhre geleitet, in die Glocke eintreten. Hat sich die Glocke mit Gas gefüllt, so öffnet man die beiden Hähne, welche den Ballon mit der Glocke verbinden, damit das Gas sich auch in den Ballon verbreiten kann, wobei natürlich dann das Quecksilber wieder in die Höhe steigt, weshalb man den einen Hahn wieder schließen muß. Man setzt die Gasentwicklung so lange fort, bis die Glocke von Neuem angefüllt ist oder vielmehr bis Ballon und Glocke mit Gas angefüllt sind, welches man erkennt, wenn die Oberfläche des Quecksilbers innerhalb und außerhalb der Glocke in gleicher Höhe steht. Hat man dieses erreicht, so muß der am Ballon befindliche Hahn geschlossen werden, und man muß alsdann den Ballon auf die Wage bringen.

Von diesem ermittelten Gewicht zieht man nun das des ausgepumpten Ballons ab und setzt das hierdurch erhaltene Resultat mit dem für die ausgepumpte Luft erhaltenen Zahlenwerth in Proportion, wobei die Luft gewöhnlich gleich 1 gesetzt wird. Oder man dividirt ganz einfach den erhaltenen Zahlenwerth der ausgepumpten Luft in den des Gases und erhält auf diese Weise als Quotienten das richtige spec. Gewicht, wenn sowohl bei der

Füllung des Ballons mit Luft, als auch bei der mit Gas, Barometerstand und Temperatur dieselben waren.

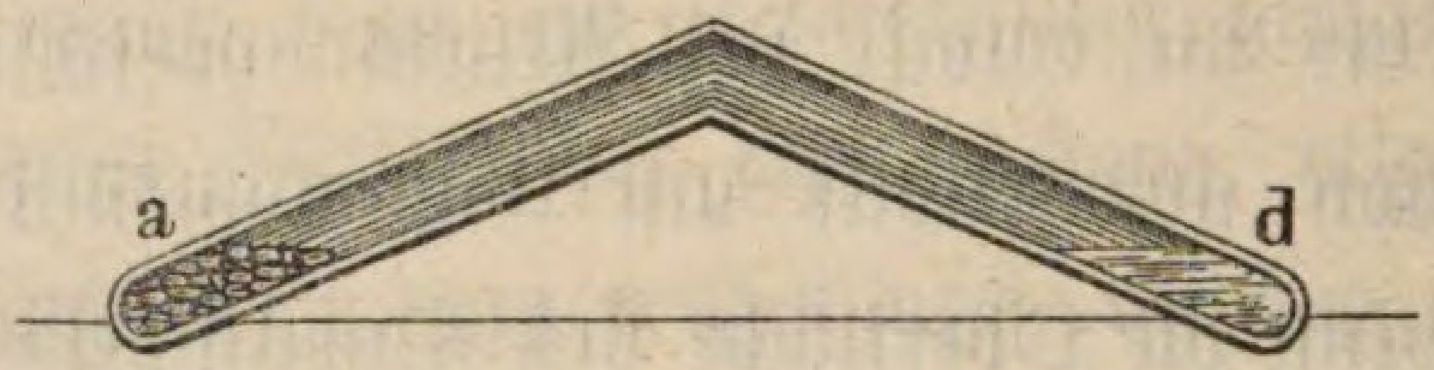
Verdichtung der Dämpfe und Gase.

Die Dämpfe werden durch Druck und Verminderung der Temperatur vermittelst Erkältung verdichtet, jedoch nur dann kann der Dampf zusammengedrückt oder erkältet werden, ohne daß er sich theilweise in Flüssigkeit verwandelt, wenn er nicht gesättigt ist.

Die Operation, welche man gewöhnlich Destillation nennt, liefert ein Beispiel von der Verdichtung der Dämpfe. Hierbei ist jedoch vorzugsweise zu beachten, daß die durch die siedende Flüssigkeit sich entwickelnden Dämpfe durch eine schnell wirkende Abkühlung verdichtet werden.

Indessen ist es nicht allein gelungen, Dämpfe, sondern auch manche Gase, welche man früher für beständig hielt, zu verdichten. Das zuerst angewandte Verfahren bestand darin, daß man die Gase in eine gebogene Röhre einschloß, wie sie in *Fig. 79*

Fig. 79.



abgebildet, in welcher sie sich durch eignen Druck verdichten.

Füllt man z. B. eine solche Röhre von starkem Glase mit Cyanquecksilber und erhitzt sie, nachdem man sie zugeschmolzen hat, an dem einen Ende a, wo sich das Quecksilber befindet, vorsichtig durch eine Weingeistlampe, so wird sich das entweichende Cyangas, wenn man das andere Ende b der Röhre in eine Kältemischung taucht, verdichten und tropfbar flüssig werden. Auch hat man auf ähnliche Weise mehre andere Gasarten, z. B. Chlor, Ammoniak, Salzsäure, salpetrige Säure u. s. w. verdichtet. Die gasförmige Kohlensäure ist zuerst durch Thilorier

mit Hülfe eines sinnreichen Apparats so verdichtet worden, daß man sie nicht allein im flüssigen, sondern auch im festen Zustande als schneeartige Masse erhalten kann.

Mischung der Gase miteinander und mit Dämpfen.

Gießt man zwei verschiedene Flüssigkeiten, welche keine chemische Verwandtschaft haben, zusammen in ein Gefäß, so wird man bemerken, daß dieselben, wenn sie auch für eine kurze Zeit gemengt bleiben, sich bald nach ihrem spec. Gewicht übereinander lagern; die leichtere wird sich über der schwereren befinden. Dies ist aber nicht bei den Gasen und Dämpfen der Fall, denn diese lagern sich nicht über einander nach ihrem Gewichte, sondern sie zeigen ein mächtiges Bestreben sich mit einander zu vermischen.

Leitet man zwei verschiedene Gase zusammen, so wird man beobachten, daß ein jedes derselben in dem Raume sich verbreitet, als ob kein anderes vorhanden sei.

Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man zwei Glasgefäße oder Ballons *(Fig. 80)* von denen das eine, mit

Fig. 80.



dem spec. leichteren Wasserstoffgas und das andere mit der bedeutend schwereren Kohlensäure gefüllt, miteinander verbindet, so daß das obere mit Wasserstoffgas und das untere mit Kohlensäure gefüllt ist. Oeffnet man die Hähne, so wird man wahrnehmen, daß die Gase sich vermischen und zwar in der Weise, daß die Hälfte des leichteren Wasserstoffgases sich in dem unteren Gefäße und die Hälfte des Kohlensäuregases in dem oberen befindet.

Die Dämpfe verhalten sich ebenso; bringt man in einen mit Gas gefüllten Raum eine Flüssigkeit, so bilden sich in diesem Raume ebenso viele Dämpfe, als ob der Raum

leer gewesen wäre; die Spannkraft ist folglich der des Gases und der des gesättigten Dampfes gleich.

Untersuchungen über die Geschwindigkeit der Mischungen haben ergeben, daß sich die leichten Gase am schnellsten verbreiten; Wasserstoffgas verbreitet sich leichter, als Kohlensäuregas. Am besten beobachtet man die Mischung, wenn man die Gase durch Oeffnungen von unmerklicher Größe sich vermischen läßt. Sind z. B. zwei Gase durch eine trockne Gypsplatte von einander getrennt, so werden sie sich während einer kurzen Zeit in Folge einer Verschiedenheit des Drucks nicht merklich vermischen, aber durch die Diffusion, welche ihrer Elasticität gleicht, die Scheidewand überschreiten. Die Raumtheile, welche in entgegengesetzter Richtung die Scheidewand durchdrungen haben, verhalten sich wie die Quadratwurzeln ihrer Dichtigkeit.

Anwendung der Dampfkraft.

(Dampfmaschine.)

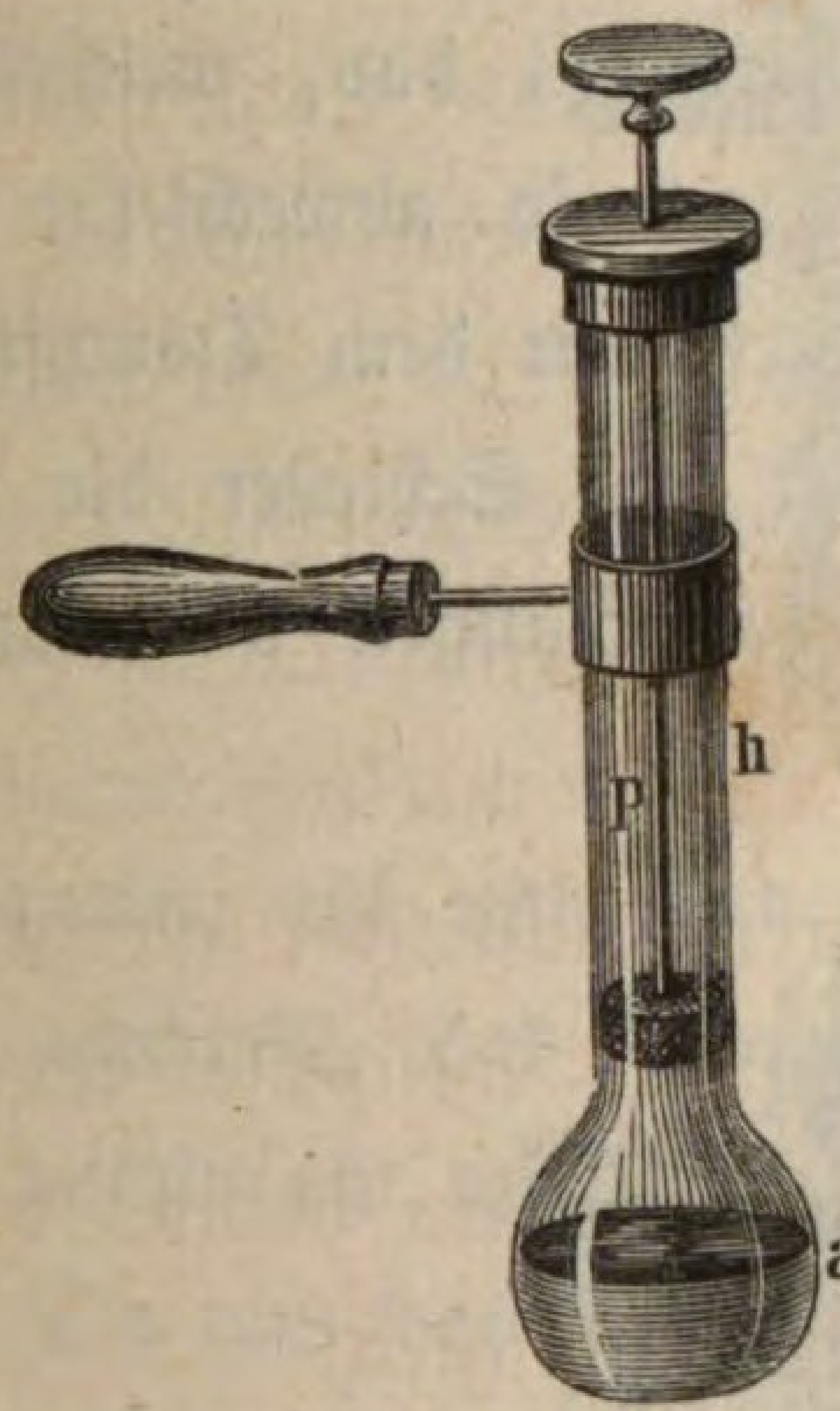
Die Dämpfe erleiden mancherlei nützliche Anwendung, besonders aber ist die allgemein bekannte, bewegende Kraft des Wasserdampfs zu erwähnen.

Die Dampfmaschine spielt im praktischen Leben eine so wichtige Rolle, daß Jedermann deren Einrichtung kennen zu lernen begierig sein muß.

Schon früh hat man die Idee gehabt, den Wasserdampf als bewegende Kraft zu benutzen, denn schon Hero in Alexandrien ersann einen Apparat, welcher durch die ausströmende Kraft des Dampfes in eine rotirende Bewegung gesetzt wurde. Ferner hat Papin mittelst eines Ventils an seinem Digestor zuerst nachgewiesen, wie stark die mechanische Kraft des Wasserdampfes bei höheren Temperaturen werden kann. Im Jahre

1687 richtete er einen Apparat *(Fig. 81)* ein, welcher gewissermaßen die erste Kolbenmaschine genannt werden kann.

Fig. 81.



Nimmt man nämlich eine etwa 1 Zoll weite Röhre mit einer angeblasenen Kugel, welche etwas Wasser enthält und läßt in der Röhre einen Kolben sich auf und ab bewegen, welcher mit etwas Werg umwickelt und durch Fett vollkommen schließend gemacht ist, so wird der Kolben, falls er sich unten in der Kugel befindet, durch entwickelte Dämpfe in die Höhe getrieben werden. Ist dann der Kolben oben angekommen und man taucht die erwärmte Kugel in kaltes Wasser, so wird eine Verdichtung der Dämpfe und mithin ein verdünnter Raum entstehen, so daß der Druck der atmosphärischen Luft, welcher auf der Oberfläche des Kolbens lastet, ihn niederdrückt. — In ganz ähnlicher Weise stellte Papin seine Versuche an; seine Cylinder, welche von Gußeisen waren, hatten mehrere Fuß im Durchmesser und eine entsprechende Höhe.

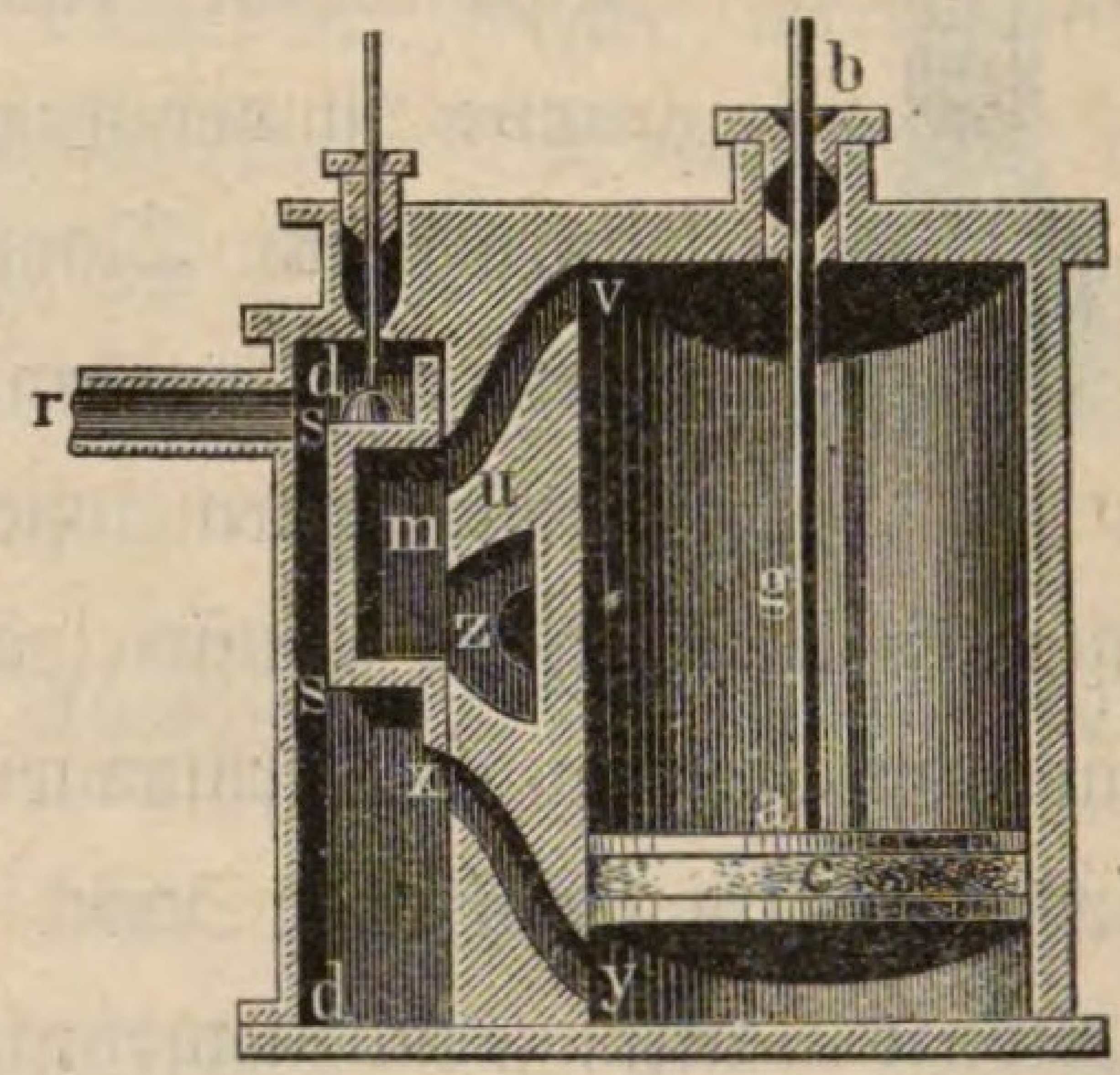
Die erste praktisch angewandte Dampfmaschine wurde von Savary im Jahre 1688 hergestellt; aber schon früher im Jahre 1615 hatte Salomon de Caus zu Frankfurt gezeigt, daß durch den Druck der Wasserdämpfe Wasser über seinen früheren Flüssigkeitsspiegel gehoben werden kann.

Die wichtigsten Theile einer Dampfmaschine sind der Dampfkessel, in welchem die Dämpfe entwickelt werden; ein Cylinder, in welchem sich der Kolben luftdicht auf- und niederbewegt; ein Condensator, ein geschlossener Behälter, in welchem

die Dämpfe mit kaltem Wasser in Berührung kommen und sich wieder verdichten.

Die Durchschnitte, welche in beifolgenden Figuren abgebildet sind, geben ein genaueres Bild von der innern Einrichtung einer Dampfmaschine. s s stellt ein Schieberventil dar, welches in dem Kasten d d auf und nieder geht und so abwechselnd den unteren oder oberen Raum des Cylinders mit dem Dampfkessel oder dem Condensator verbindet. Hat der Schieber die vorliegende Stellung, wie in *Fig. 81 A,* so gelangen die Dämpfe

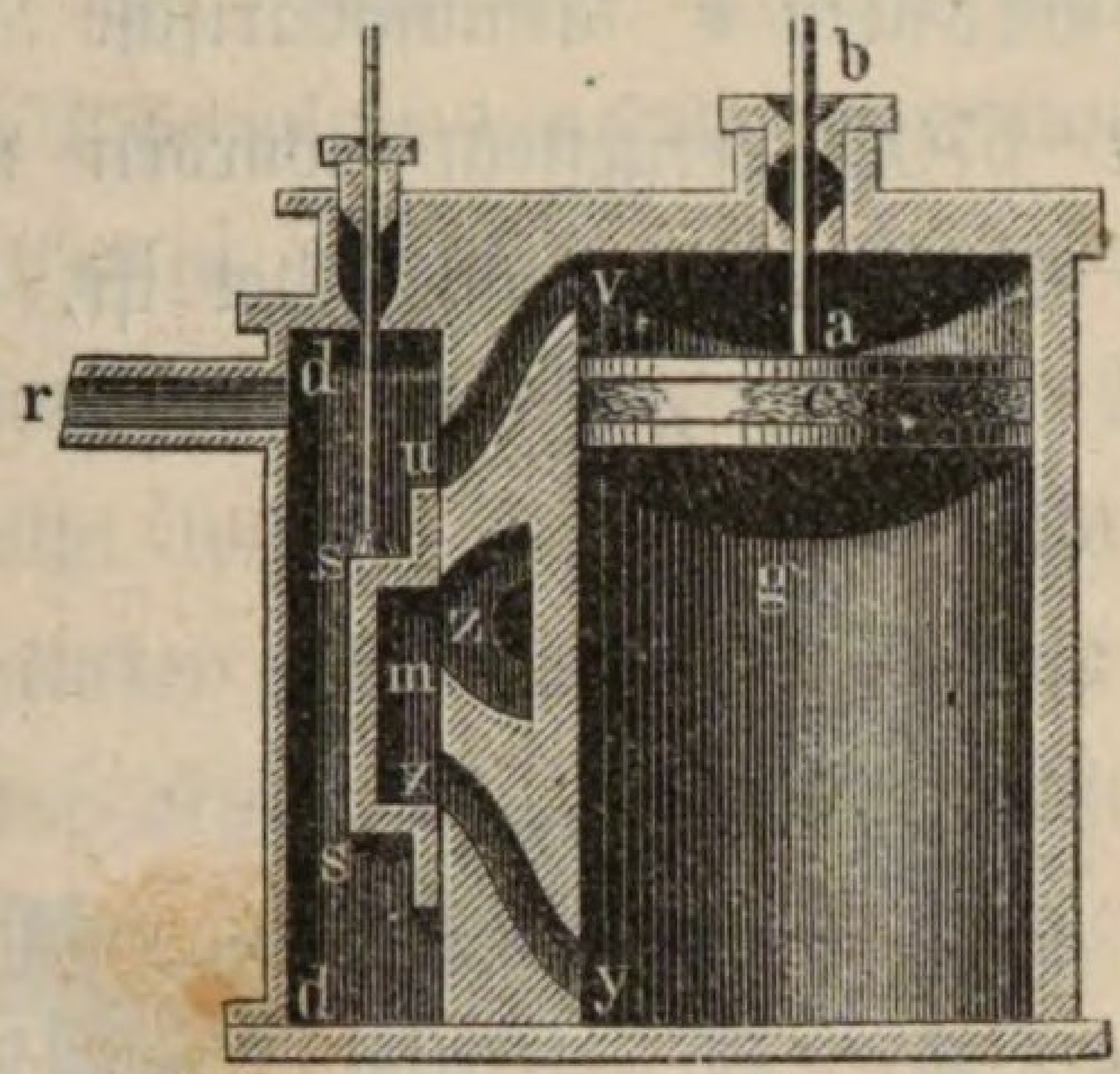
Fig. 81 A.



aus dem Kessel durch das Rohr r in den Kasten d d und von hier durch den Kanal x y in den unteren Raum des Cylinders und treiben den Kolben C empor. Zugleich entweichen die Dämpfe aus dem oberen Raume des Cylinders durch den Kanal u v in den Raum b, wo die Dämpfe sich zu Wasser verdichten. Hat aber der Schieber die Stellung, wie sie in der zweiten *Fig. 81. B.* aufgezeichnet ist, so werden die Dämpfe aus dem Kessel durch den Kanal u v über den Kolben C treten und denselben niederdrücken, während die unter dem Kolben befindlichen Dämpfe durch den Kanal x y und das Rohr z nach dem Condensator entweichen.

Durch eine Kolbenstange wird ein großer Hebelarm, der

Fig. 81 B.



Balancier, auf und nieder bewegt, welcher ein großes massives Rad umdreht, das die Maschine gleichmäßig im Gange erhält und mithin ein wirkliches Schwungrad ist.

Da nun das Wasser im Condensator durch die bei der Verdichtung der Dämpfe freiwerdende Wärme sich sehr bald erwärmen würde, so muß dasselbe mit Hülfe einer Pumpe, welche durch die Maschine selbst in Bewegung gesetzt wird, beständig erneuert werden. Ebenso wird auch der Schieber durch eine mit dem Balancier verbundene Stange auf- und niederbewegt.

Je nachdem die Spannkraft der Dämpfe den Druck der Atmosphäre nur wenig oder mehrere Male übertrifft, unterscheidet man Maschinen mit niederem und hohem Druck.

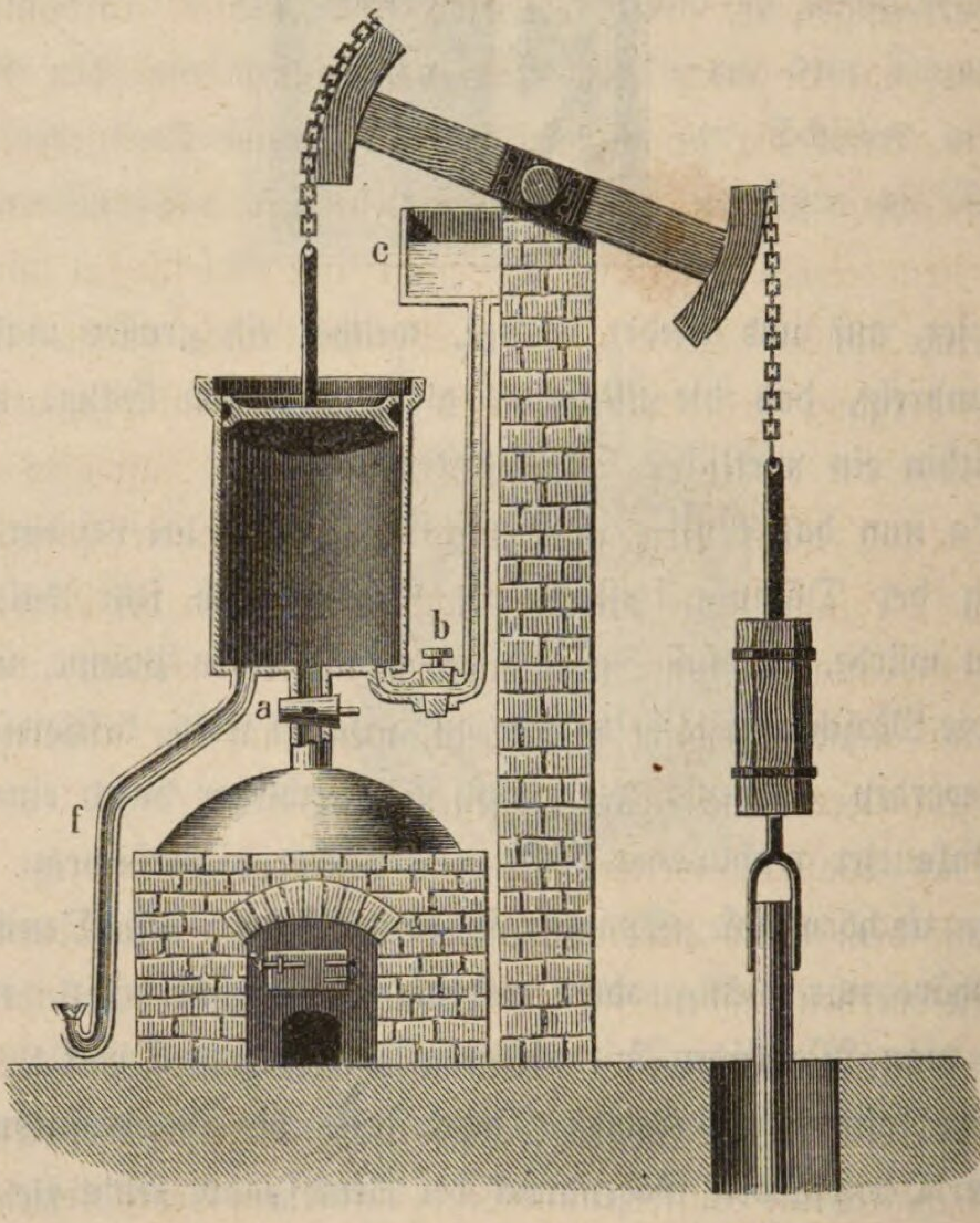
Bei solchen mit hohem Druck fehlt der Condensator, da hier die Dämpfe den Gegendruck der Atmosphäre leicht zu überwinden vermögen.

Die Leistung einer Dampfmaschine wird gewöhnlich nach Pferdekräften ausgedrückt, wobei man unter der Kraft eines Pferdes eine Kraft versteht, welche in der Secunde 100 Pfund 5 Fuß hoch zu heben im Stande ist.

Die erwähnten Savary'schen Maschinen, welche jetzt nicht mehr angewandt werden, dienten dazu, um das Grubenwasser

aus den Bergwerken fort zu schaffen. Zu demselben Zweck wurde auch Newkomm's atmosphärische Maschine benutzt, welche im Jahre 1705 hergestellt worden war. Bei dieser Maschine, welche in *Fig. 82.* abgebildet ist, wurde der Kolben

Fig. 82.



durch Wasserdämpfe in die Höhe und durch den Druck der Atmosphäre niedergetrieben, weshalb dieselbe auch atmosphärische genannt wurde. — Die Dämpfe wurden unmittelbar im Cylinder selbst durch in denselben eingelassenes Wasser verdichtet. Dieser Cylinder ist, wie die *Fig. 82* zeigt, durch eine Röhre mit dem Dampfkessel verbunden, aber die Verbindung kann durch einen Hahn a nach Belieben unterbrochen und wieder

hergestellt werden. In dem Cylinder bewegt sich ein Kolben luftdicht auf und ab. Ist der Kolben durch den aus dem Kessel kommenden Dampf in die Höhe getrieben worden, so wird der Hahn a geschlossen, dagegen ein zweiter Hahn b geöffnet, durch welchen nun kaltes Wasser aus dem Behälter c in den Cylinder eingespritzt wird. Dieses kalte Wasser verdichtet die Dämpfe im Cylinder und der von außen auf den Kolben wirkende Druck der atmosphärischen Luft treibt ihn nieder.

An dem Kolben ist eine Kette befestigt, welche an dem einen Arm eines Balanciers befestigt ist, an dessen anderem Arm eine ähnliche Kette mit der Pumpenstange hängt. Durch den Niedergang des Kolbens wird die Pumpenstange gehoben; wenn aber die Kraft des Dampfes den Kolben aufwärts treibt, so kann sich diese Bewegung nicht dem Balancier mittheilen, weil die biegsame Kette dieselbe nicht fortpflanzt; der Niedergang der Pumpenstange kann nur dadurch bewirkt werden, daß sie durch ihr eignes Gewicht niedergeht, wenn auf der andern Seite des Balanciers keine Kraft entgegenwirkt.

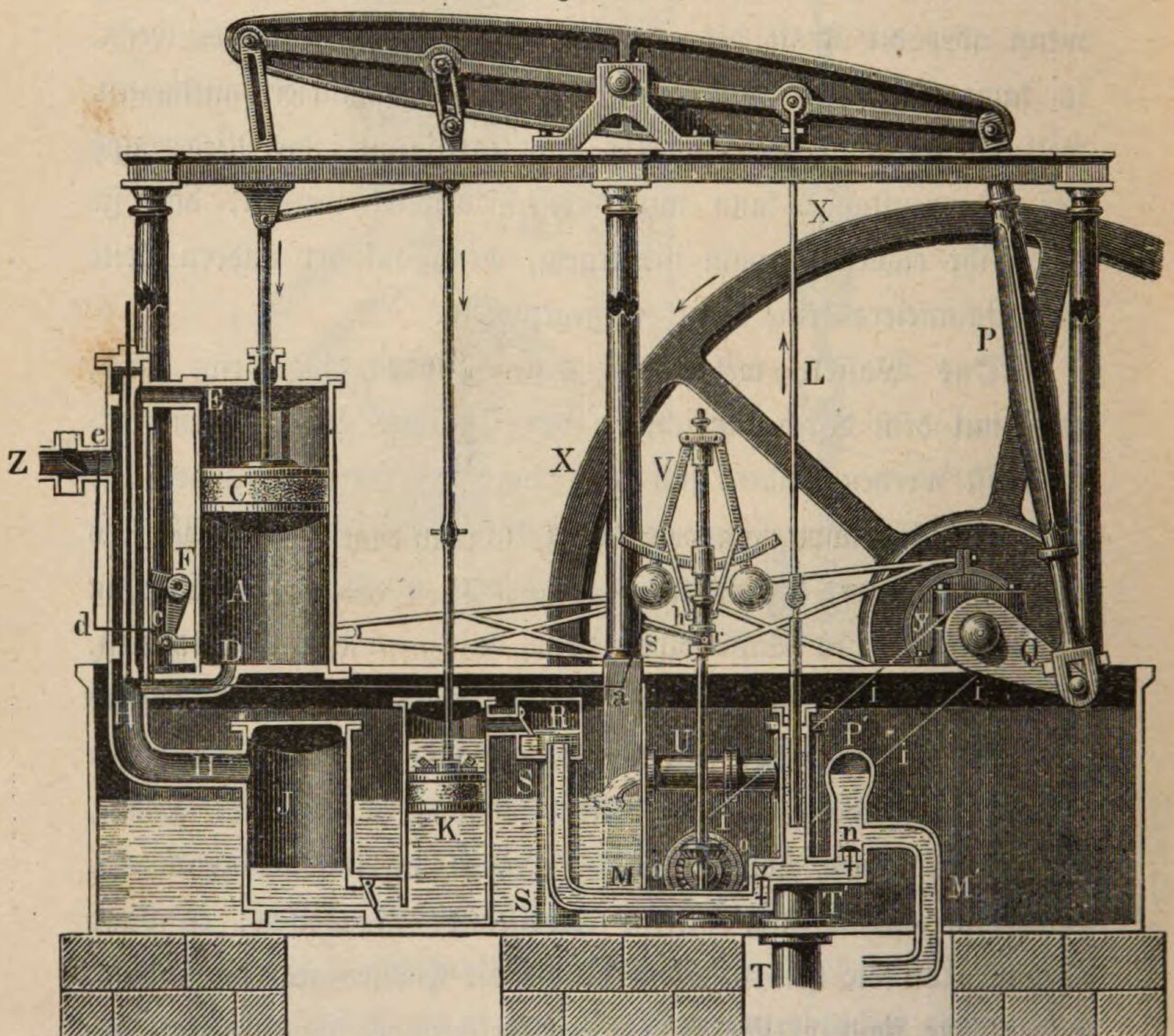
Das Wasser, welches in den Cylinder eingespritzt wird, muß mit dem durch Verdichtung des Dampfes entstandenen fortgeschafft werden, indem sich sonst bald der ganze Cylinder mit Wasser füllen würde; es ist daher für den Abfluß des Wassers aus dem Cylinder eine Röhre f angebracht, deren unteres Ende, in einen Behälter mit Wasser eintauchend, mit einem Ventil versehen ist.

Das Umständlichste bei diesen Maschinen war, daß stets eine Person beschäftigt sein mußte, um die Hähne zur gehörigen Zeit zu drehen. Ein zu diesem Geschäft angestellter Knabe, Humphry Potter, welchem das Drehen zu langweilig wurde, sann auf ein Mittel, diesem Uebelstande abzuhelfen; er band Schnüre an die Hebel, durch welche die Hähne gedreht wurden, und führte sie zum Balancier, an welchem er sie dergestalt be=

festigte, daß derselbe, wenn er sich hob und senkte, die Schnüre anzog und die Hähne mit der größten Regelmäßigkeit öffnete und schloß.

Im Jahre 1763 wurde Jacob Watt beauftragt, ein Modell einer atmosphärischen Maschine auszubessern und gerieth dabei auf den glücklichen Gedanken, einen abgesonderten Condensator anzubringen; um ferner das Wasser aus dem Condensator wegzuschaffen, brachte Watt eine Pumpe an, deren Stange an den Balancier angehängt und also durch die Maschine selbst in Bewegung gesetzt wurde. Es folgte nun eine Verbesserung auf die andere, bis endlich die Watt'sche Dampfmaschine, von der *Fig. 83.* eine Abbildung liefert, vollendet dastand.

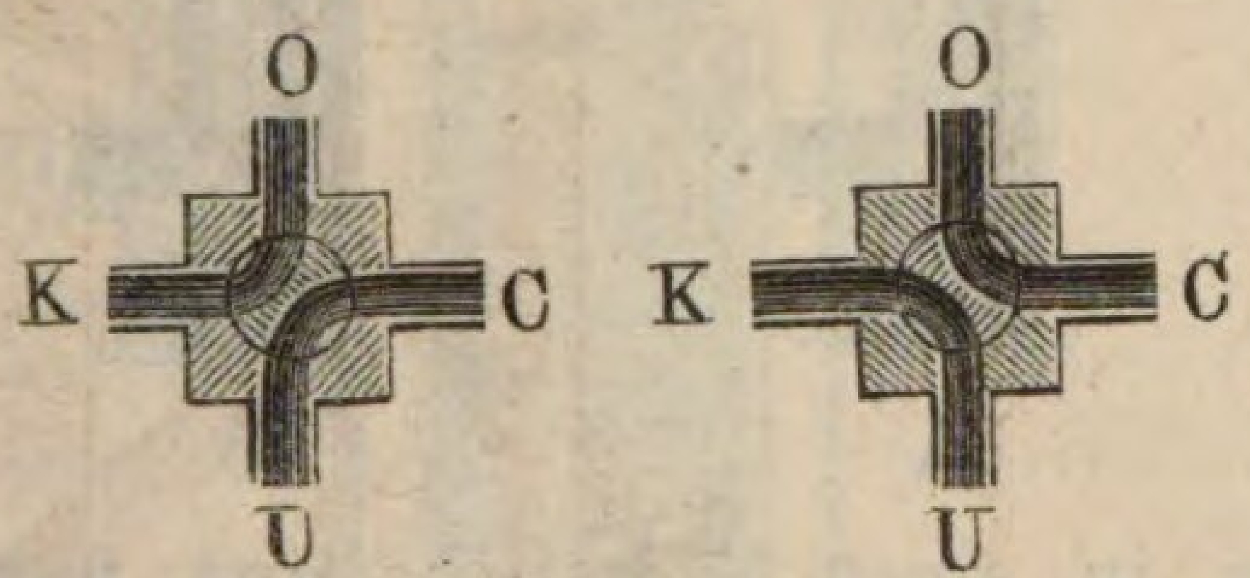
Fig. 83.



A ist ein Cylinder, in welchem sich der Kolben C luftdicht auf- und abbewegt; die Röhre Z steht mit einem Dampfkessel, welcher in der Figur nicht angegeben ist, in Verbindung und es tritt nun aus dieser Röhre abwechselnd, durch c und d Dampf in den Cylinder; der Dampf im unteren Theile des Cylinders entweicht bei D, um durch die Röhre H nach dem Condensator J zu gelangen, wo er verdichtet wird; oben drückt nun der Dampf auf den Kolben C, und unter demselben ist ein verdünnter Raum, so daß der Kolben nun im Niedergang begriffen ist.

Um zu bewerkstelligen, daß der Dampf abwechselnd oben und unten in den Cylinder tritt, während der Dampf von der andern Seite des Kolbens entweicht, hat man verschiedene Vorrichtungen ersonnen, unter denen die einfachste der sogenannte Vierweghahn ist, welcher, wie *Fig. 84.* zeigt, durchbohrt ist;

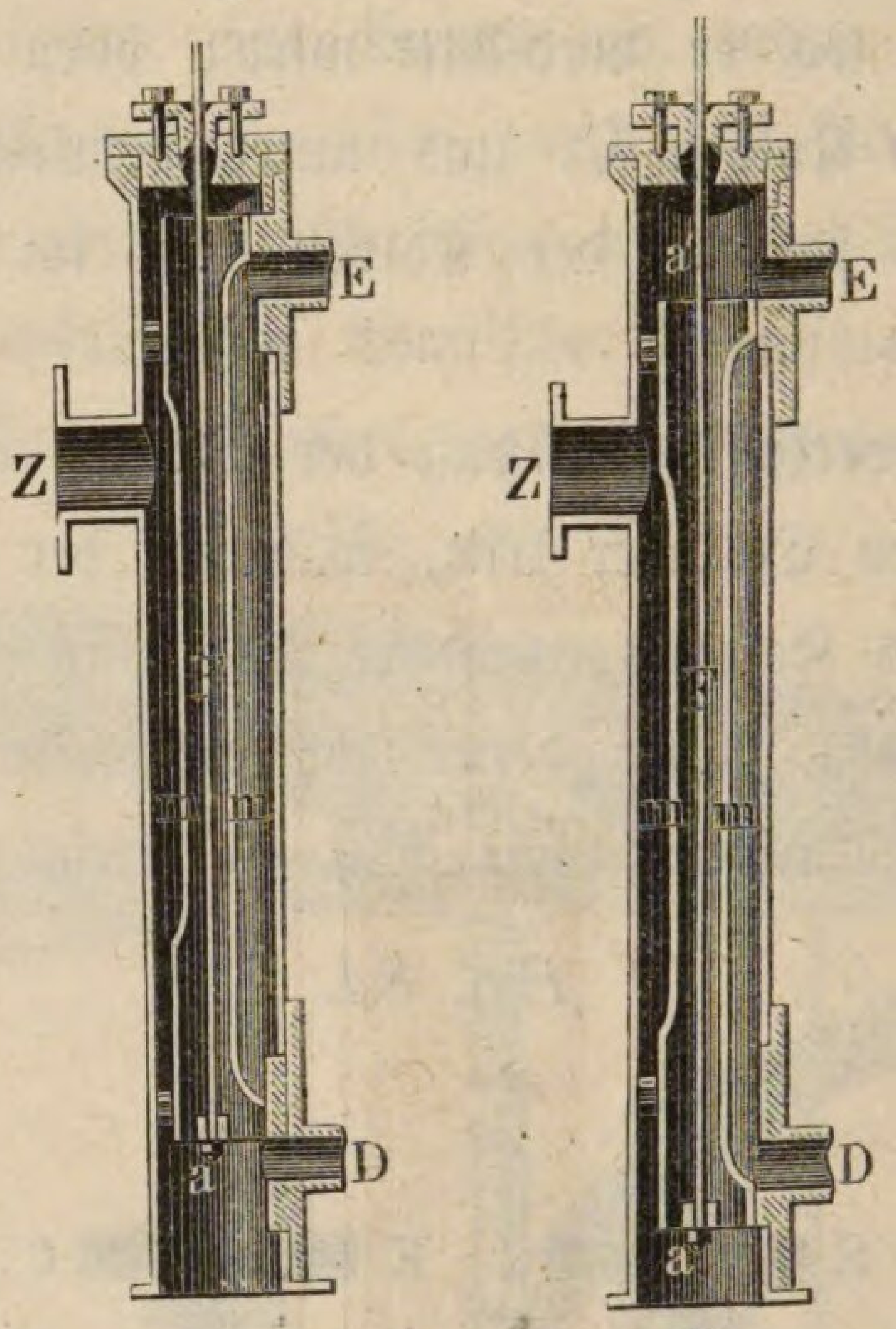
Fig. 84.



die Röhre K führt nach dem Kessel, C nach dem Condensator, O nach dem oberen, U nach dem unteren Theil des Cylinders; hat nun der Hahn die Stellung der beigegebenen Figur, so strömt der Dampf aus dem Kessel in den oberen Theil des Cylinders, während der untere Theil desselben durch die Röhre U und C mit dem Condensator verbunden ist. Sowie der Kolben im Cylinder unten angekommen, wird der Hahn durch eine Viertelumdrehung in die Stellung, welche die zweite Figur liefert, gebracht. Die Röhren K und U sind nun verbunden, so daß der Dampf unten einströmt, während er aus dem oberen Theil des Cylinders durch

die Röhren O und C nach dem Condensator entweicht, so daß nun eine aufwärts gerichtete Bewegung stattfindet. Für größere Maschinen hat der Vierweghahn sich als praktisch bewährt; man wendet daher meistens ein Schieberventil an, wie es in *Fig.* 85 *A.* und *B.* abgebildet ist. Durch die Röhre Z ge-

Fig. 85 *A.* und *B.*



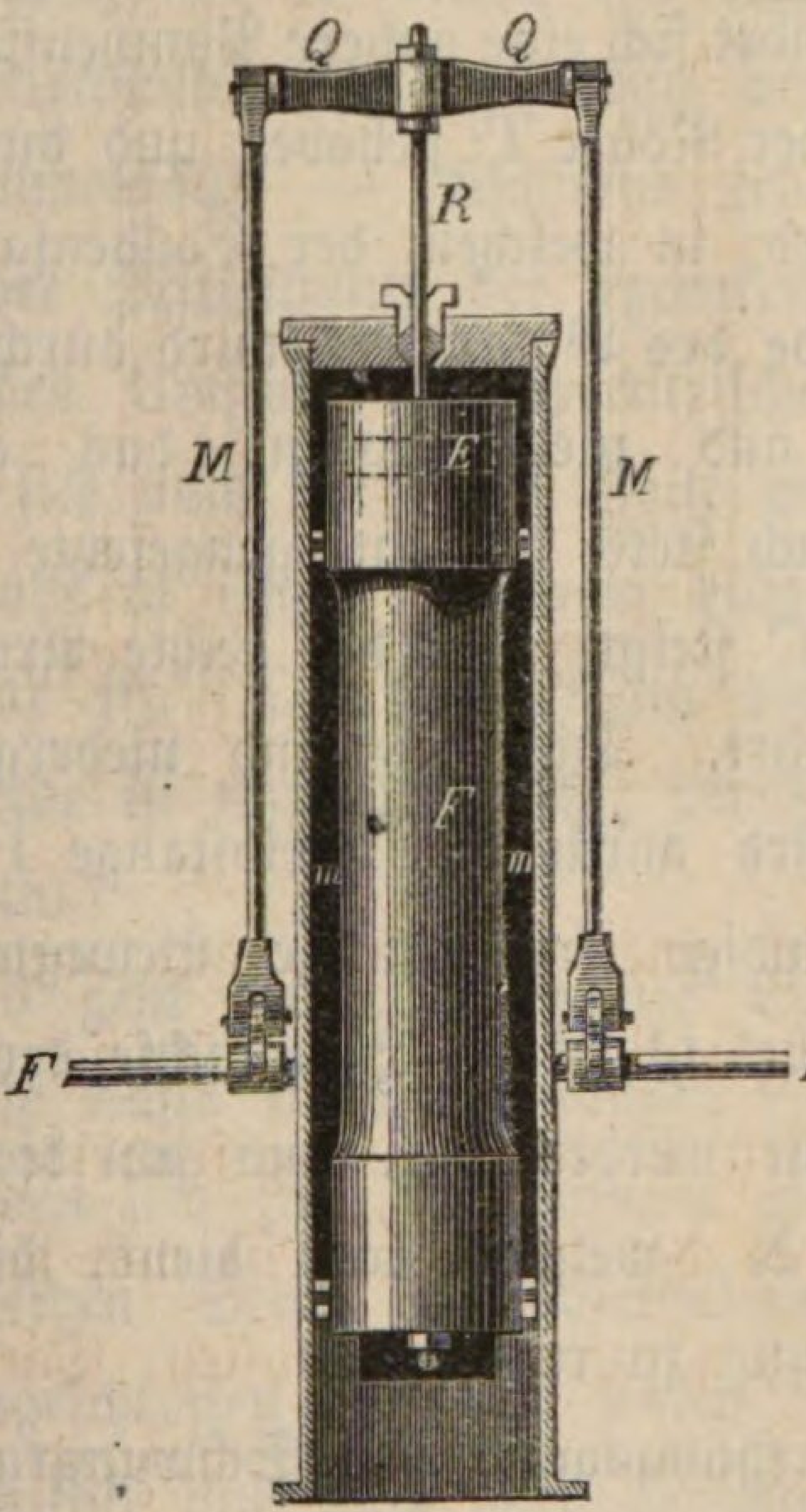
langt der Dampf in einen Behälter, aus welchem die Röhren D und E nach dem Cylinder führen. Dieser Behälter ist nun durch den Schiebkasten F in zwei abgesonderte Räume getheilt. Der mittlere Theil m des Behälters ist von dem oberen Raum a' und dem unteren a gänzlich abgeschlossen. Die Räume a' und a aber sind durch die Höhlung des Schiebkastens selbst verbunden. In den Raum m strömt nun stets der Dampf aus dem Kessel; die Räume a' und a sind fortwährend mit dem Condensator in Verbindung. Hat das Schiebkasten-Ventil die Stellung in *Fig.* 85 *A*, so strömt der Dampf aus m durch den Kanal E oben in den Cylinder ein; durch den Kanal D aber gelangt

der Dampf unter den Kolben nach a und von da nach dem Condensator. Hat das Schiebkasten-Ventil die Stellung von *Fig. 85 B*, so strömt der Dampf aus m durch D von unten in den Cylinder ein. Der Dampf über dem Kolben aber geht durch E nach a′, von da durch den Schiebkasten hindurch nach a′, um endlich in den Condensator zu gelangen.

Fig. 86 zeigt das Schieberventil in der Richtung von Z her gesehen.

Durch eine Pumpe K, gewöhnlich Luftpumpe genannt, wird das Wasser aus dem Condensator in den Behälter R

Fig. 86.



gebracht, aus welchem es größtentheils durch die Röhre s abfließt. Die Wärme, welche beim Verdampfen des Wassers im Kessel gebunden wurde, wird bei der Verdichtung der Dämpfe wieder frei, wodurch die Temperatur des in den Condensator eingespritzten kalten Wassers erhöht wird. Das Wasser, welches

durch die Pumpe K nach R geschafft wird, ist demnach warm und kann daher zur Speisung des Dampfkessels verwendet werden. Das zur Speisung des Kessels erforderliche Wasser gelangt durch die Röhre N zu einer Pumpe, welche es durch die Röhre S zum Kessel schafft; diese Pumpe wird wie die Luftpumpe selbst in Bewegung gesetzt; die Pumpenstange L ist nämlich an den Balancier angehängt und wird gehoben, wenn der Kolben C niedergeht, dagegen niedergedrückt, wenn C aufsteigt. Geht der an der Stange L befestigte Kolben der Warmwasserpumpe in die Höhe, so öffnet sich das Saugventil v, aber beim Niedergang des Kolbens öffnet sich das Ventil n.

Hinter L befindet sich eine andere Pumpenstange, durch welche kaltes Wasser in der Röhre T′ gehoben und durch U in den Behälter gebracht wird, in welchem der Condensator steht.

Das eine Ende des Balanciers wird durch die Kolbenstange abwechselnd auf- und niedergezogen, das andere Ende des Balanciers hat auch stets die entgegengesetzte Bewegung, d. h. wenn der Kolben C steigt, geht der rechte Arm des Balanciers nieder und umgekehrt. Die auf- und niedergehende Bewegung des Balanciers wird durch die Treibstange P und die Kurbel Q in eine beständige kreisförmige Bewegung umgewandelt. Die Achse der Kurbel Q ist die Hauptachse der Maschine, welche in Bewegung gesetzt werden soll, und um diese dreht sich auch das Schwungrad X, welches dazu dient, die Bewegung der Maschine gleichförmig zu erhalten.

Um die Umdrehungsachse des Schwungrades und um eine vertikale Rolle o ist eine etwas gespannte Schnur i geschlungen, so daß die Umdrehung der Hauptachse die Umdrehung der Scheibe o zur Folge hat. An der Achse dieser Scheibe befindet sich ein vertikales konisches Rad, dessen Zähne in ein ähnliches horizontal stehendes eingreifen, so daß dieses horizontale Rad

um seine vertikale Achse gedreht wird. Diese ist mit einer Stange versehen, an deren oberem Ende ein konisches Pendel, aus zwei Kugeln bestehend, angebracht ist. Bei einer raschen Umdrehung werden die beiden Kugeln, vermöge ihrer Centrifugalkraft, auseinander fahren, während die Hülse h gehoben wird.

Das Drehen des Vierweghahns oder das Auf- und Niederziehen des Schieberventils muß die Maschine selbst verrichten und die Vorrichtung, welche diese Bewegung hervorbringt, nennt man die Steuerung.

Der wichtigste Theil der äußeren Steuerung ist die excentrische Scheibe, welche an der Achse des Schwungrades sich befindet, deren Mittelpunkt aber nicht mit dem Mittelpunkt der Umdrehung zusammenfällt. — Während jeder Umdrehung der Achse beschreibt der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe einen Kreis und um den Umfang der excentrischen Scheibe ist ein Ring gelegt, der sich nach der einen Seite in ein Gestänge verlängert, dessen Ende in einen Hebelarm eingreift, der um eine feste Achse drehbar ist. Die Entfernung des Mittelpunkts der excentrischen Scheibe ist unveränderlich; der Hebelarm muß also seine Lage wechseln.

Die Achse o geht durch die ganze Breite der Maschine hindurch, wo diese Achse in ihrer ganzen Länge erscheint. An dieser Achse befinden sich zwei vollkommen gleiche und parallele Hebelarme an beiden Seiten des Behälters, in welchen das Schieberventil eingeschlossen ist. An jedem dieser beiden Hebelarme ist eine vertikale und nach oben gerichtete Stange befestigt, und oben sind diese durch eine horizontale Querstange Q verbunden, an deren Mitte die Stange r hängt, an welcher das Schieberventil befestigt ist.

Diese Stange geht luft- und dampfdicht durch eine Stopfbüchse in den Behälter des Schieberventils. Die Bewegung

des Hebelarms N bewirkt durch die Stange M eine abwechselnde Hebung und Senkung der Querstange Q, wodurch denn auch das Schieberventil auf- und niedergezogen wird.

Die Schiffs-Dampfmaschine ist im Wesentlichen nach denselben Grundsätzen construirt. Die früheren Dampfbote fuhren mit einer einfachen Maschine mit Balancier und Schwungrad; jetzt aber ist man der gleichförmigen Bewegung wegen dahin gekommen, die Welle durch zwei Maschinen drehen zu lassen, welche gerade unter ihnen steht.

Die gegenwärtig gebräuchlichen Dampfer sind entweder Räder- oder Schraubenschiffe, und die letzteren sind noch sehr neu. Bei beiden hat die Dampfmaschine nur die Aufgabe, eine Welle zu drehen.

Der Balancier ist nur bei Räderschiffen anwendbar, bei andern Schiffen durch andere Einrichtungen ersetzt; er liegt aber dann stets unter dem Cylinder, während die Kolbenstange oben in ein Querstück endigt, an dessen Enden die Stange einer Parallelführung angebracht ist, die nach unten geht und da mit dem Balancier zusammenhängt. Vom andern Ende desselben ist dann die Kurbelstange aufwärts nach der Räderwelle geführt. — Die Cylinder sind gewöhnlich so kurz, daß ihr Durchmesser größer ist, als ihre Höhe; die Kolben haben daher einen kleinen Spielraum und die Kurbel-Arme eine geringe Länge. Der Condensator, die Steuerung und die übrigen Theile zeigen von denen der gewöhnlichen Locomotive wenig Abweichung. Ein Regulator ist nicht vorhanden, da auf den stets gleichförmigen Gang der Maschinerie nicht sehr viel ankommt. — Die Form der Kessel gleicht gewöhnlich der einer Röhre.

Besonders erwähnenswerth ist die Schraube, als Fortbewegungsmittel der Schiffe, welche eine allgemeine Einführung erfahren hat. Da nun die Schraubenwelle sich bedeutend schneller

drehen muß, als eine Räderwelle, so hat die Maschinerie auch in dieser Beziehung manche Abänderung erfahren.

Das oft in Anwendung kommende Mittel ist, daß man die Schraube auf eine besondere Welle setzt, die Kurbelwelle mit einem Stirnrade versieht, und dieses in ein kleineres Getriebe auf der Schraubenwelle eingreifen läßt. Wo dieses stattfindet, macht man der größern Sicherheit wegen diese Getriebe immer sehr breit oder schiebt drei bis vier schmalere Räder an einander. Häufig aber wendet man auch die übersetzten Räder gar nicht an, sondern läßt die Schraubenwelle direct von dem Cylinder aus angreifen.

Die Schraubenschiffe haben vor den Räderschiffen mancherlei Vorzüge, welche ihnen immer mehr Aufnahme verschaffen, denn die das Wasser peitschenden Räder sind leicht Beschädigungen ausgesetzt, und geben außerdem dem Fahrzeuge zu viel Breite, so daß es nicht durch so enge Wasserstraßen fahren kann, als das Schraubenschiff. Sobald das Räderschiff in eine geneigte Lage kommt, so daß nur ein Rad im Wasser geht, so wird es dadurch nach der andern Seite gewendet, und verliert dadurch den Lauf.

Die gewöhnlichste Form der Dampfmaschinen ist die bekannte Locomotive, welche sich von den stehenden Maschinen hauptsächlich dadurch unterscheidet, daß sie stets mit Hochdruck und ohne Verdichtung arbeitet, daß sie kein Schwungrad, dagegen zwei Dampfcylinder hat, deren Kolbenstangen auf ein- und dieselbe Achse drehend wirken, daß ferner der Kessel der Locomotive, der größeren Heizfläche wegen, mit einer großen Anzahl Sieberöhren durchzogen ist, daß ferner der Luftzug durch Einströmen des abziehenden Dampfes vermehrt wird, und daß endlich die Locomotive einen sehr veränderlichen Widerstand mit veränderlicher Geschwindigkeit zu überwinden hat.

Die beifolgende *Fig. 87 A.* bietet einen Längendurchschnitt

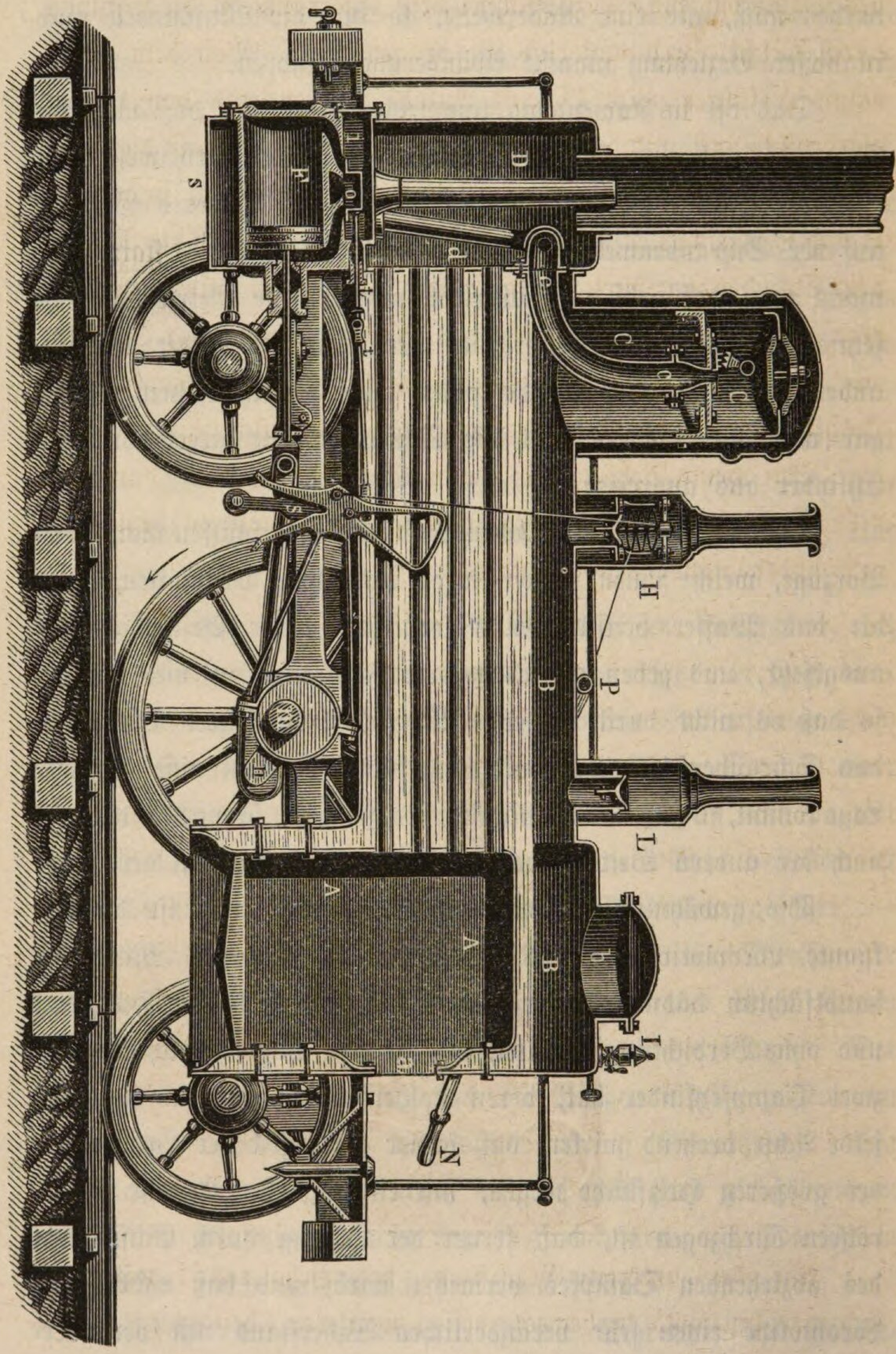
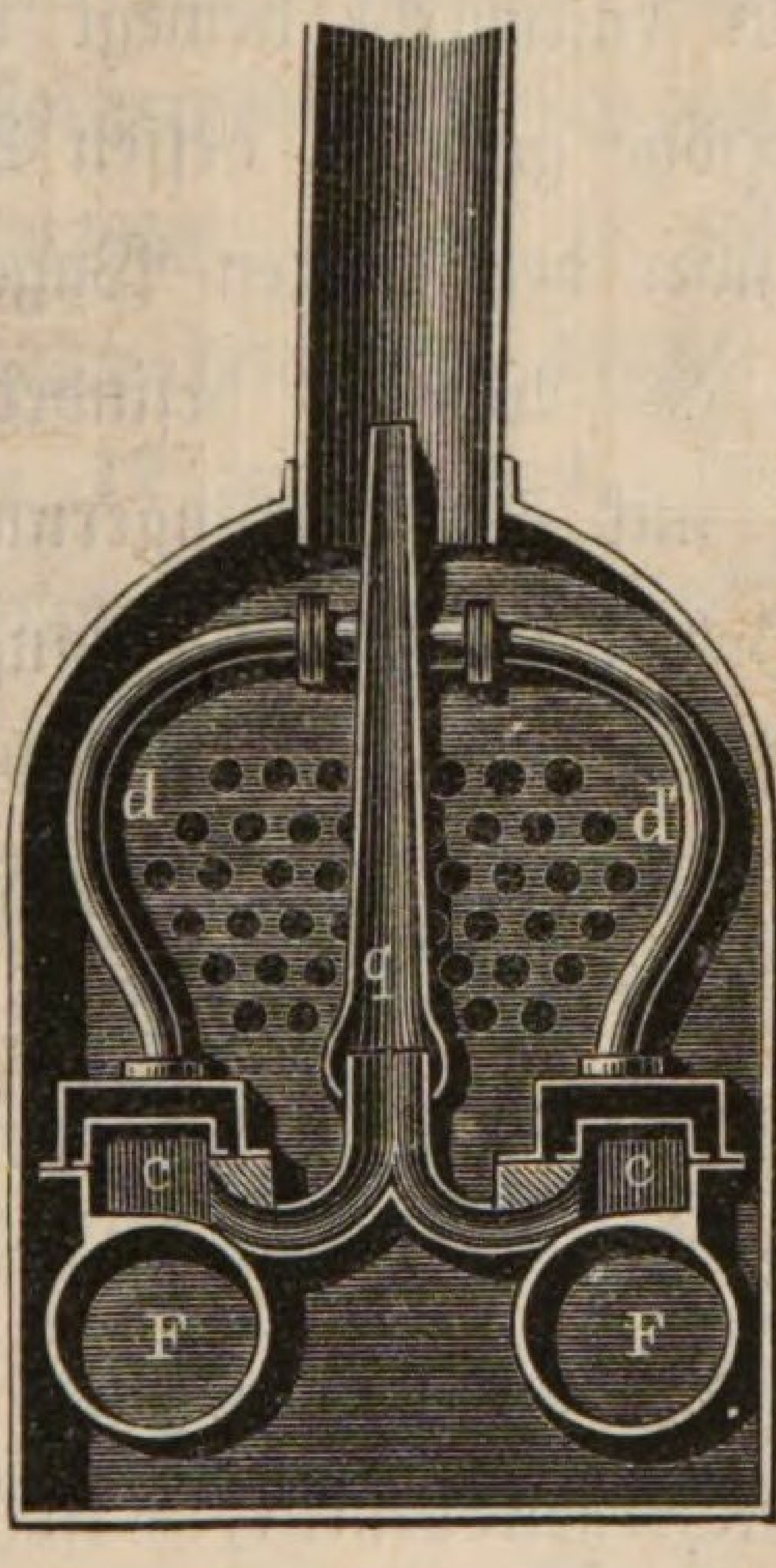


Fig. 87 A.

des Dampfwagens. A bezeichnet den Feuerraum, a die Öffnung, durch welche Brennmaterial eingetragen wird. Von dem Feuerraum A führen nach D eine Anzahl Röhren und von D geht die erhitzte Luft mit dem Rauch durch den Schornstein in die Höhe. Die Dämpfe des Wassers sammeln sich über demselben, in dem mit B und C bezeichneten Raume. Von C werden sie durch die Röhre c dem Cylinder zugeführt und die Röhre c theilt sich bald in zwei andere. Auf jeder Seite des Wagens liegt ein horizontaler Cylinder, wie sich aus *Fig. 87 B.* ergiebt, und der Kolben sammt den Kolbenstangen geht in einer horizontalen Richtung hin und her.

Von dem Behälter i, in welchen der Dampf durch die Röhre c und d geleitet wird, führen zwei Kanäle zu dem einen und andern Ende des Cylinders.

Fig. 87 B.



Auf der unteren Grenzfläche des Behälters i wird ein Schieber hin- und herbewegt, dessen mittlerer Theil einen Kasten o bildet, welcher nach unten offen ist. Die Kolbenstange ist durch sogenannte Coulissen festgehalten, durch welche sie verhin-

dert wird, von der Bahn abzuweichen. An der Kolbenstange befindet sich die Treibstange, welche die Kurbeln n um die Achse m umdreht. An der Achse m sind aber auch die mittleren Räder des Wagens befestigt, so daß durch jeden Hin- und Hergang des Kolbens eine ganze Umdrehung des Rades erfolgt; bei jedem Hin- und Hergang des Kolbens geht also der Wagen um eine Strecke weiter, welche dem Umfang der mittleren Räder gleich ist; die excentrische Scheibe ist ebenfalls an der Achse m befestigt, und bewegt den Schieber im Behälter i; das Xförmige Ende des am Ring der excentrischen Scheibe befestigten Gestänges greift am obern Ende eines Hebels ein, dessen Stützpunkt bei s ist; durch die Bewegung dieses Hebels werden aber auch die daran befestigten Stangen t und durch diese wird der Schieber hin- und hergezogen.

Soll der Wagen rückwärts bewegt werden, so wird der Hebelarm M in die Höhe gezogen, dessen Stützpunkt bei P liegt, wo seine Achse quer über den ganzen Wagen geht.

Auf jeder Seite des Wagens befindet sich nun ein Hebelarm, dessen Richtung mit der Verlängerung von N P parallel läuft. Von diesem Hebelarme gehen Stangen vertikal herunter zu den Xförmigen Enden. Durch Aufheben des Hebelarms N wird offenbar das X auf jeder Seite des Wagens niedergedrückt, so daß nun das Gestänge am untern Ende des Hebels angreift, dessen Stützpunkt s ist. Je nachdem aber das Gestänge von oben nach unten läuft, muß sich das Rad in der Richtung der Pfeile oder in der entgegengesetzten drehen.

H und L sind Sicherheitsventile, l ist ein Pfeifchen, welches zu Signalen dient.

Wärmecapacität und specifische Wärme.

Die Wärmemenge, welche erforderlich ist, Körper von verschiedener Natur bei gleichem Gewicht auf eine bestimmte Tem-

peratur zu erheben, ist ungleich, da das Vermögen der Körper, eine gewisse Anzahl Wärmemengen aufzunehmen, um zu einer bestimmten Temperatur zu gelangen, ein verschiedenes ist.

Man sagt daher, wenn ein Körper mehr Wärme bedarf, als ein anderer, um mit ihm einen gleichen Temperaturgrad zu erreichen, seine Wärmecapacität ist größer; er bindet also mehr Wärme. Die Wärmecapacität des Wassers ist 33mal größer, als die des Quecksilbers, weil dieses letztere nur den 33sten Theil der Wärmemenge braucht, um mit demselben auf einen gleichen Temperaturgrad zu kommen. — Die Zahl der Wärmeeinheiten, welche nöthig ist, um einen Körper von der Masse 1 um 1^0 zu erhöhen, hängt von der Wärmecapacität ab, und wird specifische Wärme genannt. Als Einheit nimmt man gewöhnlich diejenige Wärme an, welche erforderlich ist, um 1 Pfund Wasser von 0^0 auf 1^0 zu bringen, da diese Menge immer dieselbe ist. Da nun, wie aus dem Vorhergehenden sich ergiebt, 1 Pfund Quecksilber, um seine Temperatur um 1^0 zu erhöhen, nur den 33sten Theil der Wärmemenge braucht, welche erforderlich ist, um 1 Pfund Wasser um 1^0 zu erhöhen, so sagt man, die spec. Wärme des Quecksilbers sei $^1/_{33}$. Bedenkt man ferner, daß die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 Pfund Eis von 0^0 in 1 Pfund Wasser zu verwandeln, so groß ist, wie die, welche man braucht, um 1 Pfund Wasser von 0^0 auf 1^0 zu erheben und hierzu 75^0 nöthig sind, so ist im letzteren Falle die Wärmeeinheit 75mal kleiner, als im ersten. Hieraus ergiebt sich nun, daß die Wärmecapacität mit der spec. Wärme in gleichem Verhältniß steht, und man sie als gleichbedeutend betrachten darf; denn je mehr Wärmecapacität ein Körper hat, desto größer ist seine spec. Wärme.

Wird die Wärmecapacität eines Körpers in sein spec. Gewicht dividirt, so erhält man die Zahl der relativen Wärme.

Da Quecksilber 13,6 mal dichter ist als Wasser, so wiegt natürlich eine bestimmte Quantität Quecksilber 13,6 mal so viel, als eine gleiche Menge Wasser. Wird die Wärmemenge, welche eine solche dem Quecksilber gleichende Menge um 1^0 erwärmt, als Einheit angenommen, so ist die Wärmemenge, welche eine gleiche Masse Quecksilber erwärmt, wie aus dem früher Gesagten hervorgeht, $^1/_{33}$, und die Wärmemenge, welche ein gleiches Volumen Quecksilber um einen Grad zu erhöhen im Stande ist, $= \frac{13,6}{33}$ oder 0,4121. Diese Zahl drückt also die relative Wärmemenge des Quecksilbers aus.

Um die spec. Wärme der Körper zu bestimmen, ist unter Anderm besonders die sogenannte Mischungsmethode zu empfehlen, welche darin besteht, daß eine gewogene Menge des Körpers bis auf eine bestimmte Temperatur erwärmt und dann in Wasser eingetaucht wird, dessen Temperatur durch Abkühlung des Körpers sich erhöht; ist nun die Menge des Kühlwassers bekannt und hat man ferner ermittelt, welche Temperaturerhöhung es durch die Abkühlung des eingetauchten Körpers erleidet, so läßt sich daraus die spec. Wärme berechnen. Regnault, welcher diese Methode zuerst anwandte, erwärmte die zu untersuchenden Körper in einem ringsum von den Dämpfen kochenden Wassers umgebenen Raume und hatte die Einrichtung getroffen, daß sie aus diesem Raume unmittelbar in's Kühlwasser herabgelassen werden konnten. Hatte er es mit in Wasser löslichen Körpern zu thun, so benutzte er als Kühlwasser ein Oel von bekannter Temperatur. Zur Erläuterung dieser Methode möge noch Folgendes dienen: Wird z. B. 1 Pfund Wasser, das 7^0 Wärme hat, mit 1 Pfund Quecksilber von 109^0 vermischt, so nimmt die Mischung nur eine Temperatur von 10^0 an. Das Quecksilber giebt also dem Wasser 99^0 Wärme ab, und diese bringen in ihm eine Temperaturerhöhung von 3^0 hervor.

Um die Bestimmung der Wärmecapacität der Gase auszuführen, kann man das zu untersuchende Gas in einem von heißem Wasser umgebenen Gefäße erwärmen und, nachdem das Gas erhitzt ist, dasselbe durch eine schlangenförmig gewundene Röhre gehen lassen, welche sich in einem mit Wasser gefüllten Cylinder befindet. Indem nun das Gas 1 Theil seiner Wärme an das Wasser abgiebt, muß seine Temperatur sinken und die des Wassers zunehmen. Je mehr nun Gas, dem Gewichte nach, von einer gewissen Temperatur nöthig war, um die Temperatur des Wassers um eine bestimmte Anzahl Grade zu erhöhen, desto geringer muß auch die Wärmecapacität des Gases sein.

Man hat auf diese Weise gefunden, daß gleiche Gewichtsmengen aller chemisch einfachen Gase und aller Gasgemenge bei demselben Druck und derselben Temperaturerniedrigung auch gleichviel Wärmeeinheiten an das Wasser abgaben.

Chemischer Einfluß der Wärme.

Bekanntlich übt die Wärme einen mächtigen Einfluß auf chemische Verbindungen aus, indem sie die Cohäsion der festen Körper vermindert, und dadurch den Aggregatzustand verändert, denn die Hauptbedingung für die Äußerung der chemischen Verwandtschaft ist eine innige Berührung der Körper, welche oft nur durch Veränderung des Aggregatzustandes bewerkstelligt werden kann. Aber die Wärme befördert auch die chemische Thätigkeit unter verschieden zusammengesetzten Körpern, indem sie eine Zersetzung derselben hervorrnft und dadurch die mit einander verbundenen Stoffe trennt, so daß nun erst eine Einwirkung auf einen andern hervorgerufen werden kann.

Es giebt nur wenige Stoffe, welche in ihrem festen Zustande, selbst wenn sie durch mechanische Mittel zerkleinert werden, sich

chemisch vereinigen, sondern es wird viel leichter eine Thätigkeit stattfinden, wenn sie in flüssigem Zustande sind, welcher durch Schmelzung oder Auflösung mit Hülfe der Wärme erzielt wird. Manche Körper verbinden sich zwar bei gewöhnlicher Temperatur, aber dennoch ist nicht in Abrede zu stellen, daß die höhere Temperatur die chemische Vereinigungskraft auf eine lebhaftere und mehr energische Weise wirksam macht; hiervon können wir uns täglich bei chemischen Operationen überzeugen.

In Folge des mächtigen Einflusses der Wärme auf chemische Vereinigung kommen aber auch ebenso häufig Zersetzungen vor; denn Körper, welche sich bei mäßiger Temperatur verbinden, werden, wenn man sie der Einwirkung einer sehr hohen Temperatur unterwirft, oftmals zersetzt. Eisen rostet z. B. bei gewöhnlicher Temperatur nicht so lebhaft als bei höherer; Quecksilber vereinigt sich bei Siedhitze mit dem Sauerstoff der Luft zu rothem Oxyd, während dasselbe in der Glühhitze diesen Sauerstoff wieder abgiebt; geschmolzener Schwefel vereinigt sich nicht mit der Kohle, sondern man muß ihn in Dampfgestalt mit glühender Kohle in Berührung bringen, wenn eine Vereinigung stattfinden soll.

Diese wenigen Beispiele genügen hinreichend, um zu bewahrheiten, wie mächtig der chemische Einfluß der Wärme ist, aber es würde nicht schwer sein, eine unendliche Anzahl aufzuführen.

Licht.

Obgleich wir über die eigentliche Natur des Lichts noch keine Gewißheit haben, so sind doch die Eigenschaften und Erscheinungen desselben so mannigfaltig, daß sie ein ausführliches Studium, das der Optik, erfordern.

Wir wissen, daß das Licht die Ursache der Helle ist, eine

Empfindung, welche wir durch selbstleuchtende Körper, wie z. B. die Sonne, wahrnehmen, indem die Lichtstrahlen direct in unser Auge fallen und auf die in demselben befindliche Nervenhaut einwirken, während die Empfindung der Dunkelheit von einer vollkommenen Ruhe dieser Nervenhaut herrührt.

Die Empfindung von Helligkeit kann aber auch hervorgerufen werden, indem an und für sich dunkle Körper durch Zurückwerfung der Lichtstrahlen eines leuchtenden Körpers sichtbar werden und daher sind selbstleuchtende und beleuchtete Körper von einander zu unterscheiden.

Die Erscheinungen, welche sowohl durch selbstleuchtende, als durch beleuchtete Körper hervorgerufen werden, lassen sich nicht mit Bestimmtheit erklären, sondern alle zur Erklärung der Lichterscheinungen gemachten Versuche beruhen auf Annahmen und Voraussetzungen. Namentlich sind zwei solcher Annahmen herrschend, welche der theoretischen Ansicht über das Wesen des Lichts und den Erscheinungen desselben zu Grunde liegen. Die eine derselben ist als Emissionstheorie, die andere als Undulationstheorie bekannt.

Nach der Emissionstheorie, welche der bekannte Newton aufstellte, betrachtet man das Licht als eine Materie und nimmt an, daß von derselben kleine Theilchen fortgestoßen werden, oder vielmehr, daß von dem leuchtenden Körper nach allen Seiten hin mit einer außerordentlichen Geschwindigkeit sehr kleine Lichttheilchen ausgesandt werden, welche dann entweder direct oder indirect zu unsern Augennerven gelangen.

Diese Theilchen der Lichtmaterie müssen natürlich sehr fein und unwägbar sein, obgleich sie dem allgemeinen Gesetze der Trägheit unterworfen sind. Man unterscheidet sie von einander durch ihre Masse, durch ihre Verwandtschaft zu anderen Körpern und durch die Verschiedenheit des Verhältnisses ihrer anziehenden

und abstoßenden Kräfte. So rührt z. B. nach dieser Ansicht die Verschiedenheit der Farben von der mehr oder minder großen Geschwindigkeit der Theilchen her.

Nach der Undulationstheorie, als deren Begründer Huyghens anzusehen ist, und welche namentlich auch von Euler vertheidigt wurde, nimmt man an, daß das Licht von dem leuchtenden Körper aus durch eine wellenförmige Bewegung, dem Schalle ähnlich, entweder auf directem oder indirectem Wege zu unsern Augennerven gelange. Der ganze Weltraum ist nämlich von einem elastischen Mittel, welches wir Aether nennen, angefüllt, durch dessen Schwingungen, von einem leuchtenden Körper hervorgerufen, das Licht fortgepflanzt wird.

Dieser Aether ist nicht allein in dem leeren Raume verbreitet, sondern er durchdringt alle festen Körper und ist wegen seiner außerordentlichen Feinheit den Gesetzen der Schwere nicht unterworfen. Fügen wir noch zu dieser Theorie hinzu, daß die Theilchen eines leuchtenden Körpers auf ähnliche Weise schwingen, wie dies bei den schallenden Körpern der Fall ist, daß aber die Lichtwellen ungleich schneller als die Schallwellen sind und daß sie auch nicht durch die wägbare Materie selbst, sondern durch den Lichtäther fortgepflanzt werden.

Diese Theorie hat in neuerer Zeit die Emissionstheorie überflügelt, so daß man ihr jetzt fast allgemein huldigt.

Quellen des Lichts. Die selbstleuchtenden Körper, wie die Sonne, halten den Aether in einer fortwährenden Schwingung, denn von ihr wird uns das Licht mit einer außerordentlichen Geschwindigkeit zugeführt. Wir dürfen aber nicht allein die Sonne, wiewohl sie der am stärksten selbstleuchtende Körper ist, als die Quelle des Lichts betrachten, sondern es giebt ja auch andere leuchtende phosphorescirende Körper, welche als Licht hervorrufende anzusehen sind. Wir können demzufolge zu den

Quellen des Lichts noch die Phosphorescenz und das Glühen der Körper, außerdem aber auch den chemischen Proceß, die Elektricität und den Krystallisationsakt zählen.

Manche Körper haben die Eigenschaft, auch eine kurze Zeit zu leuchten, wenn sie vorher dem Sonnenlicht ausgesetzt waren. Diese Erscheinung bezeichnet man mit dem Namen Phosphorescenz durch Bestrahlung oder Einsaugung. Unter solchen Körpern nimmt der röthlich violette Flußspath den ersten Platz ein. Grothuß fand, daß dieses Mineral, nachdem es dem Lichte nur sehr kurze Zeit ausgesetzt gewesen war, Wochen lang leuchtete. Eben dieselbe Eigenschaft haben aber auch die meisten Diamanten, an denen sie zuerst im Jahre 1808 wahrgenommen sein soll, indem man bis dahin nur wußte, daß sie erwärmt und gerieben im Dunkeln leuchteten. Ebenso kann man auch den Schwerspath zu den phosphorescirenden Körpern zählen.

Als künstliche Präparate, welche diese Eigenschaft in sich tragen, können wir unter anderen den sogenannten Bologneser Leuchtstein anführen, welcher hauptsächlich aus Schwefelbarium besteht. Wird dieser Leuchtstein nur acht bis zehn Sekunden von der Sonne bestrahlt, so wird er, in vollkommenes Dunkel gebracht, mit einem röthlich feurigen Lichte leuchten. Als andere Präparate können wir noch den Homberg'schen Phosphor, hauptsächlich aus Chlorcalcium bestehend, den Canton'schen Phosphor, welcher wesentlich Schwefelcalcium ist, und endlich die sogenannten Antimon- und Arsenikphosphore aufzählen. Eine chemische Veränderung der phosphorescirenden Körper hat man bis jetzt jedoch nicht beobachtet. Fast alle Körper, welche durch Einsaugung des Lichts phosphoresciren, besitzen auch die Eigenschaft, daß sie, wenn sie im Dunkeln erwärmt werden, stark leuchten. Außerdem tragen aber die Eigenschaft der Phosphorescenz noch manche andere Körper, namentlich Metalloxyde, an sich. —

Selbst durch den elektrischen Schlag werden manche Körper leuchtend.

Nicht allein nehmen wir eine solche Phosphorescenz wahr, wenn gewisse dem Mineralreich angehörende Stoffe der Bestrahlung des Lichts ausgesetzt, oder im Dunkeln erwärmt werden, sondern diese Eigenschaft des Leuchtens kommt auch manchen lebenden Körpern zu; weniger selten ist aber noch das Leuchten abgestorbener Körper und verwesender thierischer Körper. Das Leuchten lebender Pflanzen scheint ohne Zweifel von gewissen abgesonderten Stoffen, welche eine chemische Veränderung erleiden, herzurühren.

Unter den Thieren sind es namentlich das fliegende und kriechende Johanniswürmchen und überhaupt solche, welche den niederen Thierclassen angehören, an denen man das Leuchten beobachtet, wahrscheinlich ebenfalls von einem abgesonderten Stoff herrührend.

Die Phosphorescenz abgestorbener Pflanzen nimmt man hauptsächlich bei faulendem Holze, z. B. der Erlen und Weiden u. s. w. wahr. Häufiger kommt das Leuchten im Thierreiche vor, wenn die todten Geschöpfe zu faulen beginnen, und zwar am meisten bei Seethieren.

Das Licht durch glühende Körper nehmen wir am besten wahr, wenn Kalk in einem Strom von Wasserstoff und Sauerstoff, oder in ein elektrisches Licht gebracht wird.

Außerdem entsteht aber auch bei Verbrennungen ein Leuchten entweder durch Glühen des Verbrennungsproductes, oder durch das Glühen des Körpers, wie z. B. der Kohle.

Das Licht, welches durch den chemischen Proceß erzeugt wird, nehmen wir bei jeder Verbrennung wahr, denn diese ist als ein chemischer Proceß zu betrachten. Aber außerdem werden wir

bei jeder chemischen Vereinigung, wenn diese auf eine energische Weise vor sich geht, Licht wahrnehmen können.

Das elektrische Licht wird bei Ausgleichung des gestörten Gleichgewichts der Elektricität wahrnehmbar.

Die Lichtentwicklung beim Krystallisationsact zeigt sich, wenn ein Körper aus dem unkrystallinischen Zustand in den krystallinischen übergeht. Ein starkes Leuchten kann man z. B. hervorbringen, wenn man unkrystallisirte arsenige Säure in siedender verdünnter Salzsäure auflöst; man wird, sobald man die Lösung erkalten läßt, bei Ausscheidung eines jeden Krystalls ein Leuchten wahrnehmen.

Die geradlinige Fortpflanzung des Lichts (Lichtstrahl, Schatten).

Unter Lichtstrahl versteht man die Linie, in welcher die Wirkung des Lichts eines leuchtenden Körpers sich fortpflanzt. Geht diese Fortpflanzung innerhalb eines durchsichtigen Körpers, z. B. innerhalb der atmosphärischen Luft vor sich, so nennt man den durchsichtigen Körper das Mittel oder Medium.

Ist dieses Mittel von gleicher materieller Beschaffenheit, so pflanzt sich darin der Lichtstrahl in gerader Linie fort. Befindet sich auf diesem Wege der geraden Linie des Lichtstrahls aber ein undurchsichtiger Körper, so wird der Anblick des leuchtenden Punktes unserm Auge entzogen.

Wir müssen demnach schließen, daß zwei Gegenstände und unser Auge sich in gerader Linie befinden, wenn der eine Gegenstand den andern verdeckt.

Da wir nun einen leuchtenden Gegenstand von allen Seiten sehen werden, so lange uns der Anblick desselben nicht durch das Zwischentreten eines andern Körpers entzogen wird, so folgt hieraus, daß von einem leuchtenden Gegenstande Lichtstrahlen nach allen Gegenden hingehen.

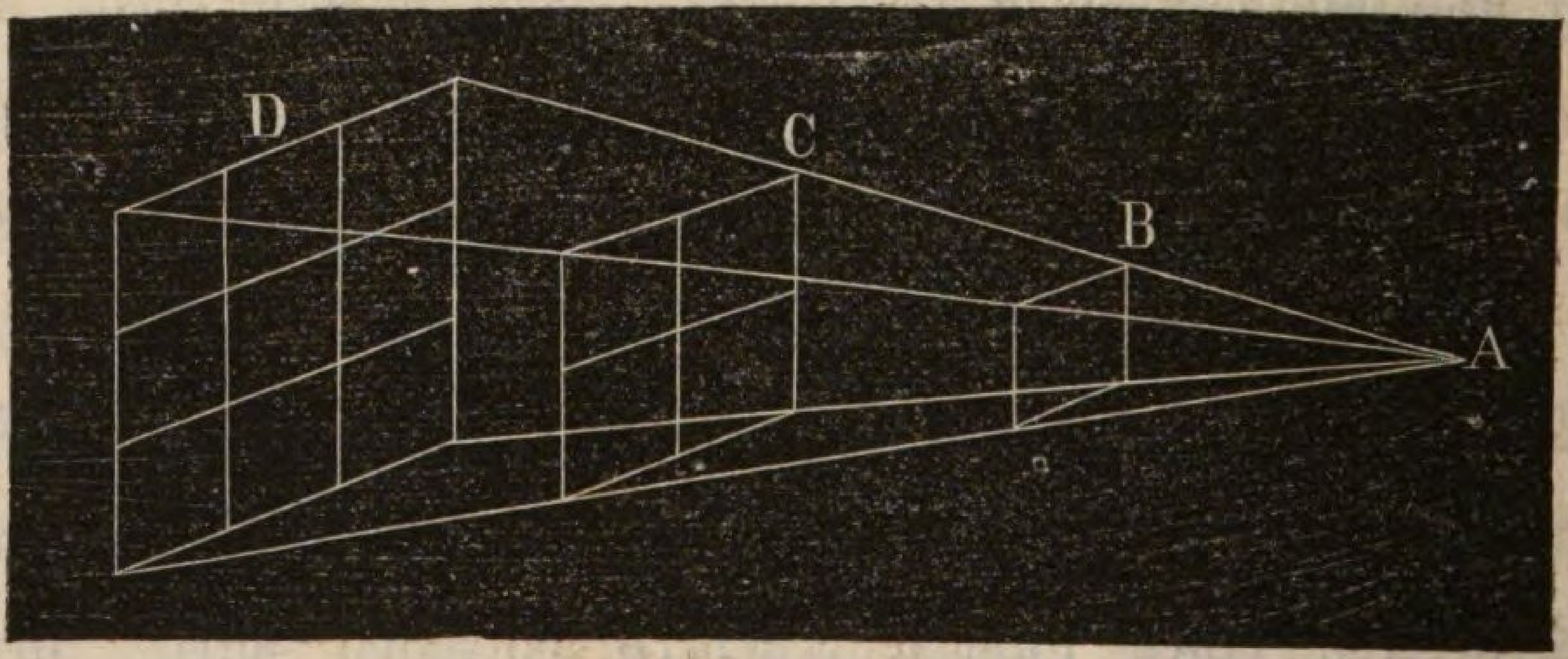
Der Raum, welcher sich hinter dem undurchsichtigen Körper befindet, wird der Schatten genannt, und zwar unterscheidet man Kernschatten und Halbschatten; ersterer ist der Raum, in welchen von dem leuchtenden Körper gar kein Licht gelangen kann, und letzterer derjenige, in welchen nur ein Theil des Lichts fällt.

Fällt das Licht eines leuchtenden Körpers auf die Oberfläche eines dunklen, so nennt man letzteren erleuchtet und die Stärke dieser Erleuchtung hängt ab 1) von der Stärke des Lichts des leuchtenden Körpers, 2) von dem Abstande der erleuchteten Fläche von dem leuchtenden Körper und von dem Winkel, unter welchem die Lichtstrahlen diese Fläche treffen. Je größer die Stärke des Lichts, welches vom leuchtenden Körper ausgesandt wird, um so größer muß auch die Stärke der bewirkten Erleuchtung sein, und zwar muß diese in gleichem Verhältniß mit jener zu- und abnehmen.

Die Stärke der Erleuchtung nimmt in umgekehrtem quadratischen Verhältniß der Entfernung ab. Haben zwei Flächen einen ungleichen Abstand von dem leuchtenden Körper und werden beide von den auffallenden Lichtstrahlen senkrecht getroffen, so wird die nähere stärker erleuchtet als die entferntere.

Ist z. B. A *(Fig. 88.)* ein leuchtender Punkt und sind

Fig. 88.



B, C und D drei einander parallele Flächen in der einfachen, doppelten und dreifachen Entfernung, so ist offenbar C viermal

und D neunmal so groß als B, wenn alle drei von einer gleichen Menge von A ausgehender Lichtstrahlen getroffen werden. Demnach erhält ein B gleicher Theil der Fläche C nur den vierten Theil und ein ebenso großer Theil der Fläche C nur den neunten Theil des auf C auffallenden Lichts.

Treffen die auf eine Fläche fallenden Strahlen dieselbe nicht senkrecht, sondern schief, so ist unter sonst gleichen Umständen die Erleuchtung um so schwächer, je kleiner der Winkel ist, welchen die Strahlen mit der Fläche bilden.

Die ausgesprochenen Sätze beziehen sich nur auf die Erleuchtung, d. h. auf die auf die Fläche auffallenden Lichtstrahlen, wovon der Glanz und die Helligkeit sehr verschieden sind, da diese durch die Menge der von der Fläche zurückgeworfenen Strahlen bestimmt wird, und Flächen von verschiedener Beschaffenheit, oder bei verschiedener Lage die auffallenden Strahlen des Lichts in einem sehr verschiedenen Verhältniß zurückwerfen. Nur bei zwei Flächen von ganz gleicher Beschaffenheit und gleicher Neigung gegen die auffallenden Strahlen stehen Glanz und Erleuchtung in gleichem Verhältniß.

Sehr wichtig ist es, im gewöhnlichen Leben die Stärke des Lichts zwei leuchtender Körper zu vergleichen, und dafür finden die oben angeführten Sätze Anwendung. Soll z. B. das Licht einer Oellampe mit dem einer Kerze verglichen werden, so kann man zu diesem Zweck folgendes Verfahren anwenden. Die beiden Lichter werden in einem übrigens unerleuchteten Zimmer, in gleichem Abstand von einer weißen Wand so aufgestellt, daß die Schatten, welche sich von einem schmalen Körper auf die Wand werfen, nahe neben einander zu liegen kommen.

Haben nun beide Lichter gleiche Stärke, so müssen auch beide Schatten eine gleiche Dunkelheit zeigen.

Ist aber das eine Licht stärker, als das andere, so wird

der von ersterem geworfene Schatten dunkeler erscheinen, als der von dem schwächern Lichte geworfene, indem der dunklere Schatten durch das schwächere Licht, der hellere Schatten aber durch das stärkere Licht erleuchtet wird.

Um nun die verhältnißmäßige Stärke der beiden Lichter zu bestimmen, entfernt man das stärkere Licht so lange, bis beide Schatten gleich dunkel oder gleich hell erscheinen und mißt hierauf den Abstand beider Lichter von der Wand.

Die Stärken beider Lichter verhalten sich dann wie die Quadrate dieser Abstände.

Geschwindigkeit des Lichts.

Das Licht pflanzt sich mit einer so großen Geschwindigkeit fort, daß es in einer Secunde 42,000 Meilen durchläuft.

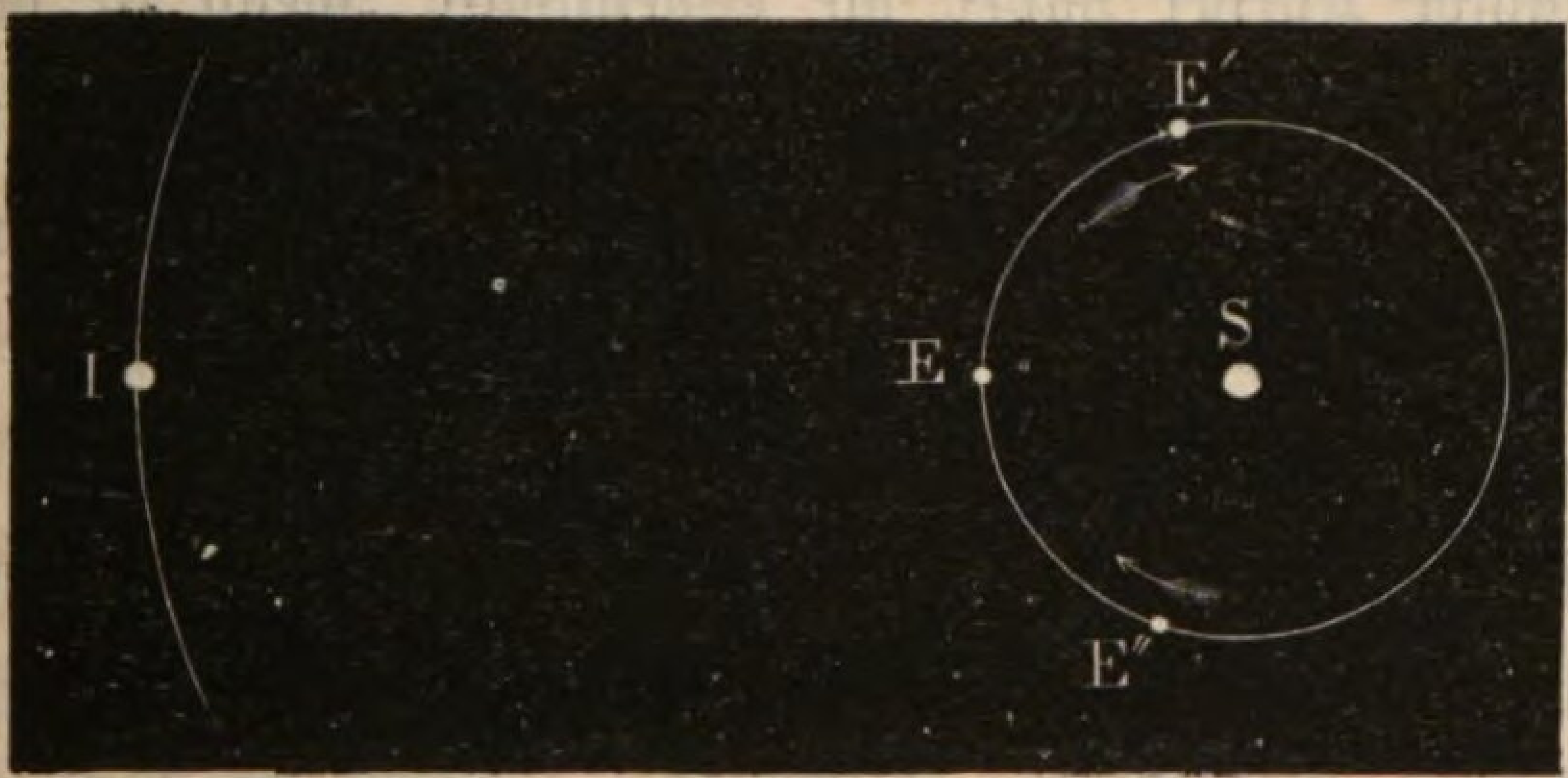
Diese Kenntniß ist uns durch fleißige Beobachtung der Trabanten des Jupiters, welche durch Olaf Römer im Jahre 1676 gemacht worden sind, zu Theil geworden. Der Jupiter wird nämlich von vier Monden umkreis't, deren Bahnen sehr nahe in eine und dieselbe Ebene fallen; die Bahnen dieser Trabanten erscheinen uns deshalb zur Linie verkürzt, und so sehen wir sie immer in einer geraden Linie aufgestellt, deren Richtung durch den Mittelpunkt des Jupiters geht. Beobachten wir den Jupiter durch mittelmäßige Fernröhre, so werden wir das hier Gesagte bewahrheitet finden.

Diese Monde ändern natürlich ihre Stellung gegen den Jupiter; bald sieht man auf jeder Seite desselben zwei, bald einen auf der einen Seite und drei auf der andern Seite und mitunter sieht man den einen Trabanten, wenn er sich gerade hinter dem Jupiter befindet, gar nicht. Verfolgt man nun die Bewegungen eines und desselben Trabanten, so sieht man, wie derselbe sich bald von Osten nach Westen und bald von Westen

nach Osten in der erwähnten Linie fortbewegt. Während er die der Erde abgewandte Hälfte seiner Bahn durchläuft, also sich hinter dem Jupiter her bewegt, sehen wir ihn von Westen nach Osten gehen; er tritt also auf der Westseite in den Jupitersschatten ein und auf der Ostseite aus. So lange der Trabant die uns zugewendete Hälfte seiner Bahn durchläuft, während er also vor dem Jupiter hergeht, sehen wir ihn von Osten nach Westen fortschreiten. Weil nun der Jupiter bei Weitem größer ist, als unsere Erde, weil also sein Schattenkegel einen ungleich bedeutenderen Durchmesser hat, als der Erdschatten, so kommt es, daß die Trabanten bei jedem Umlauf vollständig verfinstert werden; nur der äußerste Trabant geht mitunter neben dem Schatten vorbei.

Befindet sich die Erde in 0 *(Fig. 89)* in ungefähr gerader

Fig. 89.



Linie zwischen der Sonne und dem Jupiter, so beträgt insbesondere für den nächsten Trabanten die Zeit von dem Eintritt einer Verfinsterung bis zur nächstfolgenden 42 Stunden 48 Minuten 42 Sekunden und da hier die Entfernung der Erde vom Jupiter in der Zwischenzeit sich fast gar nicht ändert, so stimmt diese Zeit mit der wahren Umlaufszeit dieses Trabanten um den Jupiter überein. Bewegt sich hingegen die Erde gerade in 0 1′ vom Jupiter weg, so beträgt diese Zwischenzeit 14 Sekunden

mehr, und wenn sich die Erde in 0'' Graden auf den Jupiter zu bewegt, 14 Sekunden weniger.

Im ersten Fall hat sich die Entfernung der Erde vom Jupiter in der Zwischenzeit von 42½ Stunden um 590 Meilen vergrößert, im letztern Fall um eben so viel verringert. Diese Verzögerung des Eintritts der Verfinsterung in dem einen und die Beschleunigung in dem andern Fall läßt sich dadurch erklären, daß wir annehmen, das Licht gebrauche 14 Sekunden Zeit, um 590 Meilen zu durchlaufen und lege also ungefähr 42000 Meilen in der Sekunde zurück, wonach es acht Minuten 13 Sekunden gebrauchen muß, um von der Sonne zur Erde zu gelangen.

Zurückwerfung oder Reflexion des Lichts.

Manche Körper haben die Eigenschaft, wenn sie von Lichtstrahlen getroffen werden, diese zu absorbiren, andere, die durchscheinend oder durchsichtig sind, lassen sie durch sich hindurchgehen, wieder andere aber werfen sie zurück; eine Erscheinung, die wir sehr häufig wahrnehmen.

Die Zurückwerfung oder Reflexion der Lichtstrahlen erfolgt entweder regelmäßig oder unregelmäßig.

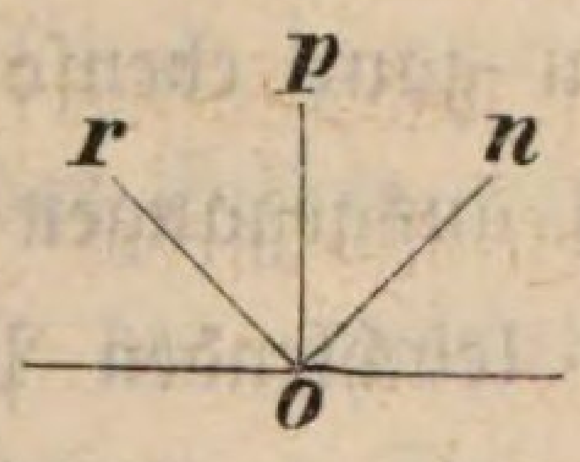
Läßt man einen Sonnenstrahl in ein dunkles Zimmer auf eine polirte Oberfläche fallen, so beobachtet man in einer bestimmten Richtung einen Strahl, welcher von dem Metallspiegel herzukommen scheint, und auf den von ihm getroffenen Gegenständen ein ebenso kleines Sonnenbildchen hervorbringt, wie wenn der Einfall des Strahls die Gegenstände getroffen hätte. Solche Strahlen nennt man regelmäßig zurückgeworfene oder reflectirte; je besser der Metallspiegel polirt ist, desto stärker ist das Licht.

Von den verschiedenen Orten des dunklen Zimmers kann

man den Theil des Spiegels unterscheiden, welcher von dem Lichtstrahl getroffen wurde; dieses kommt daher, daß von der getroffenen Stelle des Spiegels ein Theil des Lichts unregelmäßig zurückgeworfen, d. h. nach allen Seiten hin zerstreut wird. Bei dieser Erscheinung findet gerade das Entgegengesetzte wie bei jener Statt, d. h. je unvollkommener der Spiegel polirt ist, desto stärker ist das zerstreute Licht. Die regelmäßig zurückgeworfenen Strahlen zeigen uns übrigens keineswegs den Körper, welcher die Strahlen zurückwirft, sondern mehr das Bild des leuchtenden Punktes, von dem sie ausgehen. Die vollkommenste Zurückwerfung geben Metallspiegel, besonders solche von Platina, sowie auch Legirungen von Kupfer, Silber und Zinn.

Regelmäßig reflectirte Strahlen haben die Eigenschaft, daß der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel gleich ist. Gesetzt in *Fig. 90* sei n o der einfallende Strahl und p o ein auf der

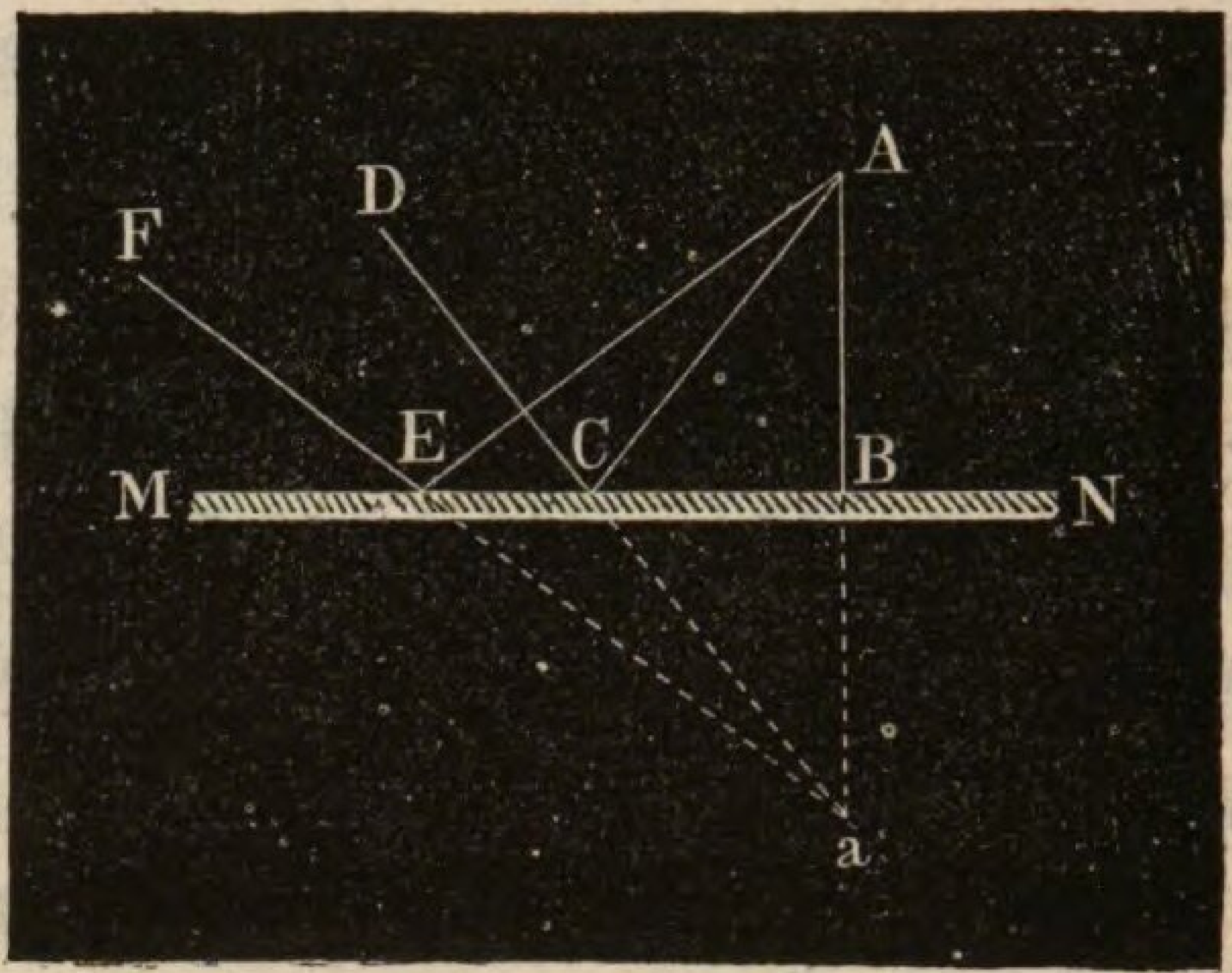
Fig. 90.



Ebene des Metallspiegels errichtetes Perpendikel, so wird der Strahl in einer solchen Richtung o r gespiegelt, daß der Reflexionswinkel r o p dem Einfallswinkel n o p gleich ist, also macht der Strahl vor und nach der Spiegelung denselben Winkel mit dem Einfallslothe.

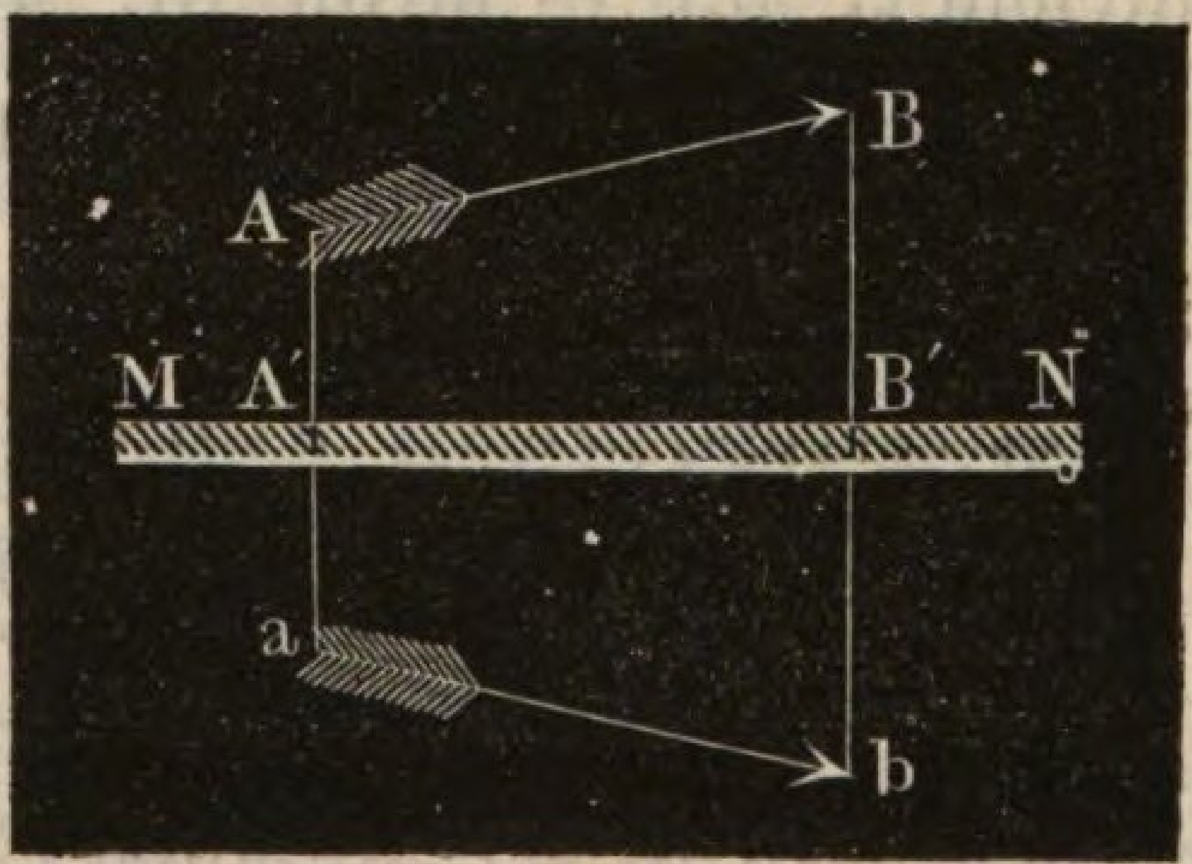
Nehmen wir einen ebenen Metallspiegel, M N, *Fig. 91 A*, vor welchem sich ein leuchtender Punkt A befindet, so wird der senkrecht auffallende Strahl in sich selbst zurückgeworfen, ein schief auffallender Strahl A B dagegen wird in der Richtung C D so zurückgeworfen, daß der Winkel D C M = A C N ist.

Fig. 91 A.



Die von dem leuchtenden Punkt auf den Spiegel auffallenden Strahlen werden sämmtlich so zurückgeworfen, daß sich die rückwärts fortgesetzten Verlängerungen der zurückgeworfenen Strahlen in einem Punkte a vereinigen, welcher ebenso weit hinter dem Spiegel liegt, als sich der leuchtende Punkt A vor demselben befindet. Ein gegen den Spiegel gerichtetes Auge wird von den zurückgeworfenen Strahlen ganz ebenso getroffen, als wenn dieselben von dem Punkte a ausgegangen wären; es muß dasselbe daher in a ein Bild des leuchtenden Punktes A erblicken. Befindet sich ferner z. B. ein leuchtender Gegenstand vor dem Spiegel M N *(Fig. 91 B.)*, dann sind, wenn wir A A′ und B B′ senkrecht auf M N ziehen und a A′ gleich A A′ und b B′ gleich B B′ machen, a und b zufolge des Vorhergehenden, die hinter dem Spiegel erscheinenden Bilder der leuchtenden Punkte A B. Da nun die Bilder aller zwischen a und b befindlichen Punkte des leuchtenden Gegenstandes A B zwischen a und b zu liegen

Fig. 91 B.



kommen, so muß das vor dem Spiegel befindliche Auge in demselben ein Bild a b erblicken, welches mit dem Gegenstande A B gleiche Größe und Gestalt hat, und ebenso weit hinter dem Spiegel als dieser vor demselben liegt.

Je vollkommener die Politur des Spiegels ist, desto mehr überwiegen die regelmäßig zurückgeworfenen Strahlen die unregelmäßig zurückgeworfenen, welche uns die spiegelnde Fläche selbst sichtbar machen, und um so schärfer und deutlicher sind die Bilder, welche wir in dem Spiegel erblicken.

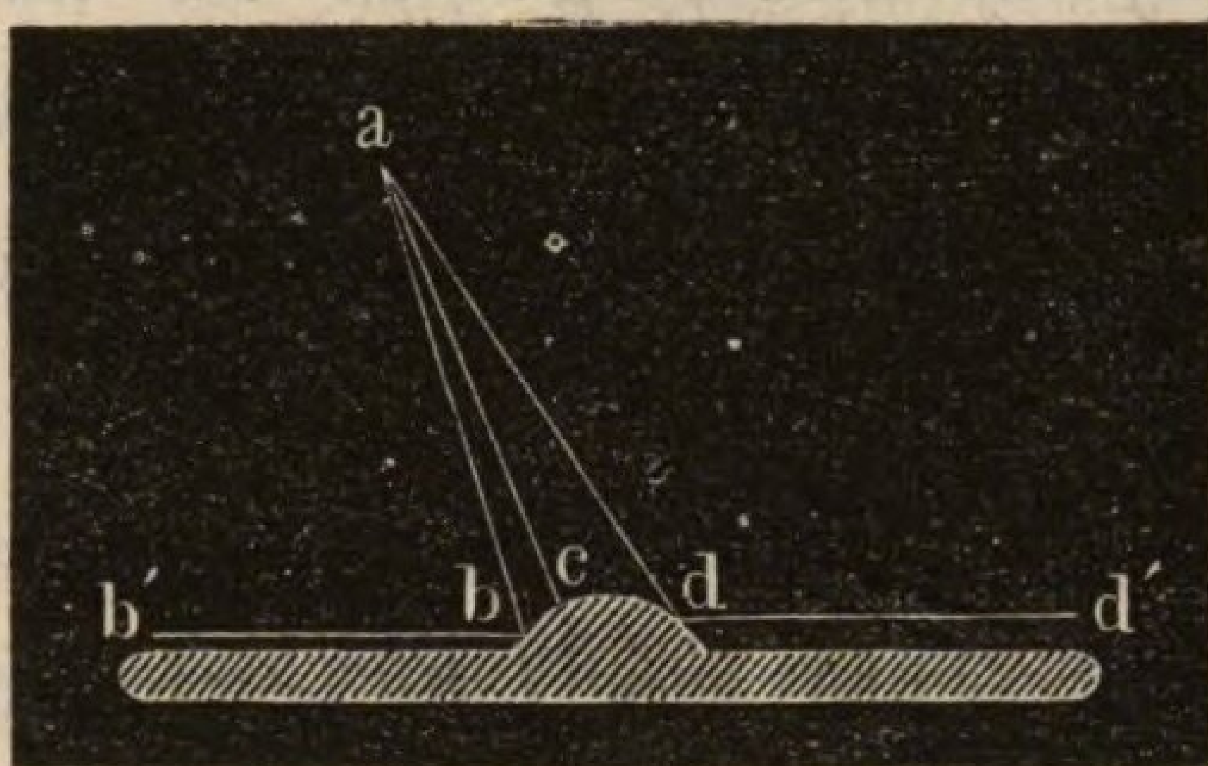
Schwach spiegelnde Flächen zeigen deutlichere Bilder, wenn die Strahlen von einem leuchtenden Punkt schief auf dieselben treffen, als wenn sie senkrecht auffallen.

Bilden die Ebenen zweier Spiegel einen Winkel mit einander, der in 360° aufgeht, so entstehen von einem zwischen den beiden Spiegeln befindlichen Gegenstande in beiden zusammen verschiedene Bilder, jedoch zwei in eins zusammenfallend. Geht aber der Winkel in 360° nicht auf, sondern ist er darin mehr als n, aber weniger als (n + 1) mal enthalten, so ist die Anzahl der zusammen erscheinenden Bilder entweder n oder auch n + 1, was dann von der Lage des zwischen beiden Spiegeln befindlichen Gegenstandes abhängt. Auf der Vervielfältigung der Bilder durch Winkelspiegel beruhet die Spielerei, welche unter dem Namen Kaleidoskop bekannt ist. Dieses Instrument besteht aus zwei in einer Röhre gefaßten und unter einen Winkel gegen einander geneigten Spiegeln, in denen sich kleine an dem einen Ende der Röhre befindliche Gegenstände einem am andern Ende in die Röhre blickenden Auge vervielfältigen und in sternförmiger Gruppirung zeigen.

Diejenige Zurückwerfung, welche uns die erleuchteten Körper sichtbar macht, nennt man **unregelmäßige** Zurückwerfung, welche sich sowohl auf Erhabenheiten als auf Vertiefungen bezieht.

Läßt man z. B. von einem leuchtenden Punkt a Licht auf eine Erhabenheit fallen, so wird derjenige Strahl a c, welcher die krumme Fläche senkrecht trifft, in sich selbst zurückgeworfen; ein Strahl a b, welcher die krumme Fläche zur linken Seite von d (*Fig. 92.*) trifft, wird nach b b′ und ein Strahl, welcher rechts von d auffällt, wird nach d d′ zurückgeworfen.

Fig. 92.



Demnach müssen sämmtliche zwischen b und c auffallende Strahlen, welche zwischen a c und b b′ liegen und diejenigen, welche zwischen a c und d d′ auffallen, zurückgeworfen werden.

Mithin wird die Erhabenheit b c d das von a auf dieselbe auffallende Licht nach allen Richtungen zurückwerfen; sie verhält sich also gerade wie ein selbstleuchtender Punkt, welcher nach allen Richtungen hin Licht aussendet, und daher von allen Seiten gesehen werden kann.

In Folge der unregelmäßigen Zurückwerfung, welche die Sonnenstrahlen an die in der Luft schwebenden Wasserdampf- und Dunsttheilchen, sowie alle Lufttheilchen selbst ertheilen, wenn die Sonne so tief unter dem Horizont steht, daß ihre Strahlen nicht mehr direct in unser Auge gelangen, wohl aber noch die oberen Schichten der Atmosphäre erleuchten, wird uns die Erscheinung der Morgen- und Abenddämmerung geboten.

Einer allgemeinen Annahme zufolge, beginnt oder endet die Dämmerung dann, wenn die Sonne 18⁰ unter dem Horizonte steht. Sie dauert bekanntlich in unsern Breiten während der längsten Sommertage die ganze Nacht, weil in diesen Tagen auch um Mitternacht die Tiefe der Sonne unter dem Horizonte noch keine 18⁰ beträgt. Am kürzesten ist die Dämmerung im

März und October und währt dann ungefähr zwei Stunden. In der Nähe des Äquators ist die Dämmerung, weil die Sonne hier in fast senkrechter Richtung über den Horizont empor- und unter denselben hinabsteigt, kürzer als in höheren Breiten, wozu namentlich auch die größere Reinheit der Atmosphäre in den tropischen Gegenden beiträgt.

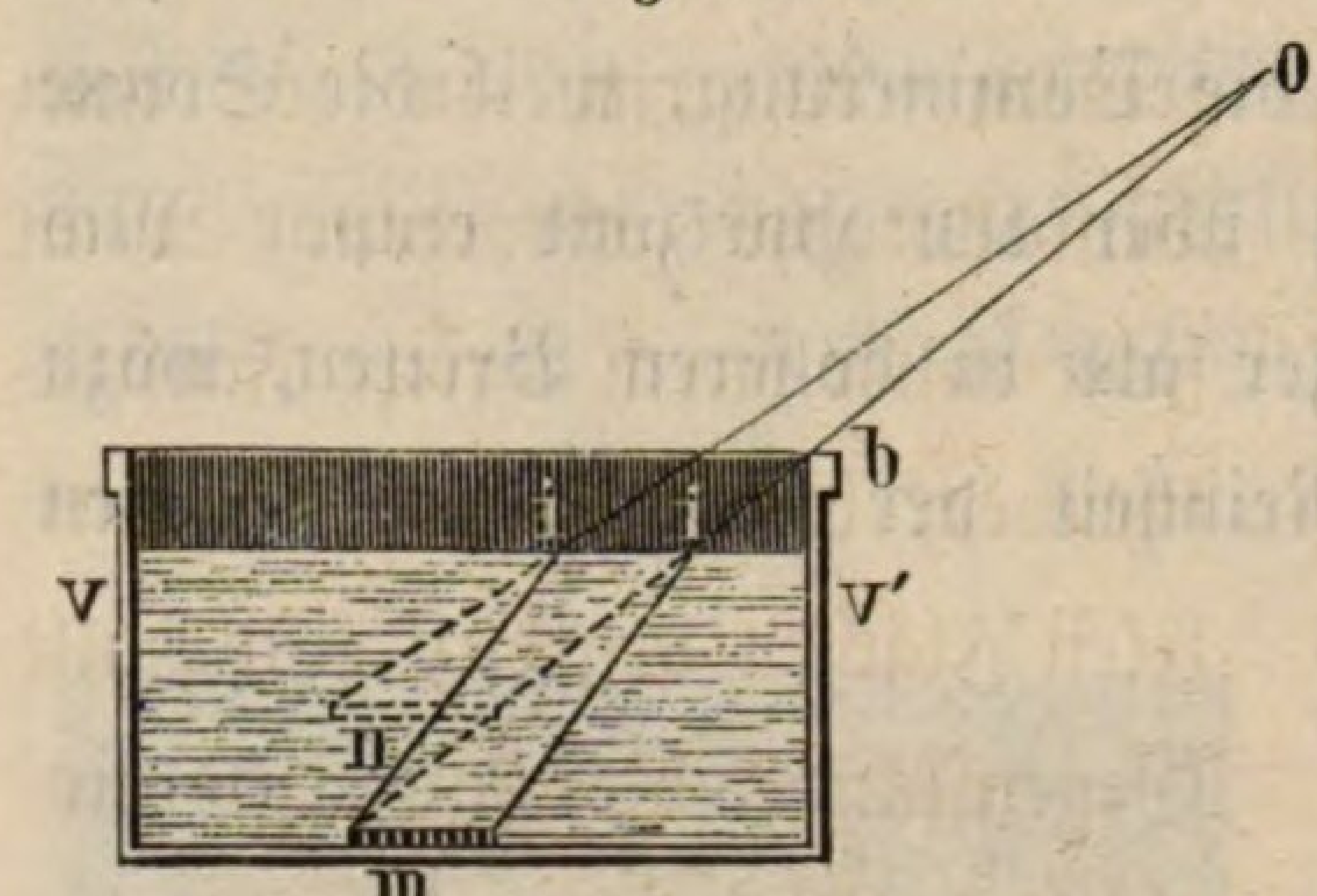
Brechung des Lichts.

Die Ablenkung, welche ein Lichtstrahl erleidet, wenn er aus einem Mittel in ein anderes von abweichender Dichtigkeit übergeht, nennt man die Brechung des Lichts; geht z. B. der Lichtstrahl aus Luft in Wasser über, so erleidet er eine solche Ablenkung, und die mehr oder minder bedeutende Ablenkung hängt von der Dichtigkeit der Mittel ab. Ist der zweite Körper dichter, als der erstere, so kommt die Brechung mehr dem Lothrechten nahe; ist er aber weniger dicht, als der erstere, so erfolgt die Brechung mehr vom Lothrechten abwärts. Fällt ein durch die Luft gehender Lichtstrahl schief auf eine Glasglocke, so wird er nach dem Lothrechten zu gebrochen; tritt er aber aus dem Glase wieder in die Luft, so wird seine Richtung abgeändert.

Der Einfallswinkel ist, wie bei der Spiegelung der Winkel, derjenige, welchen der einfallende Strahl mit dem errichteten Einfallslothe macht. Der Brechungswinkel ist derjenige, welchen der gebrochene Strahl mit der Fortsetzung der Einfallslothe macht. Die Einfallsebene ist die durch den einfallenden Strahl und das Einfallsloth, die Brechungsebene die durch den gebrochenen Strahl und das Einfallsloth gelegte Ebene.

Eine einfache Ablenkung nimmt man wahr, wenn man auf den Boden eines Gefäßes v v′ *(Fig. 93.)* mit undurchsichtigen Wänden eine Münze legt, und sich so stellt, daß das Auge o nur den Rand

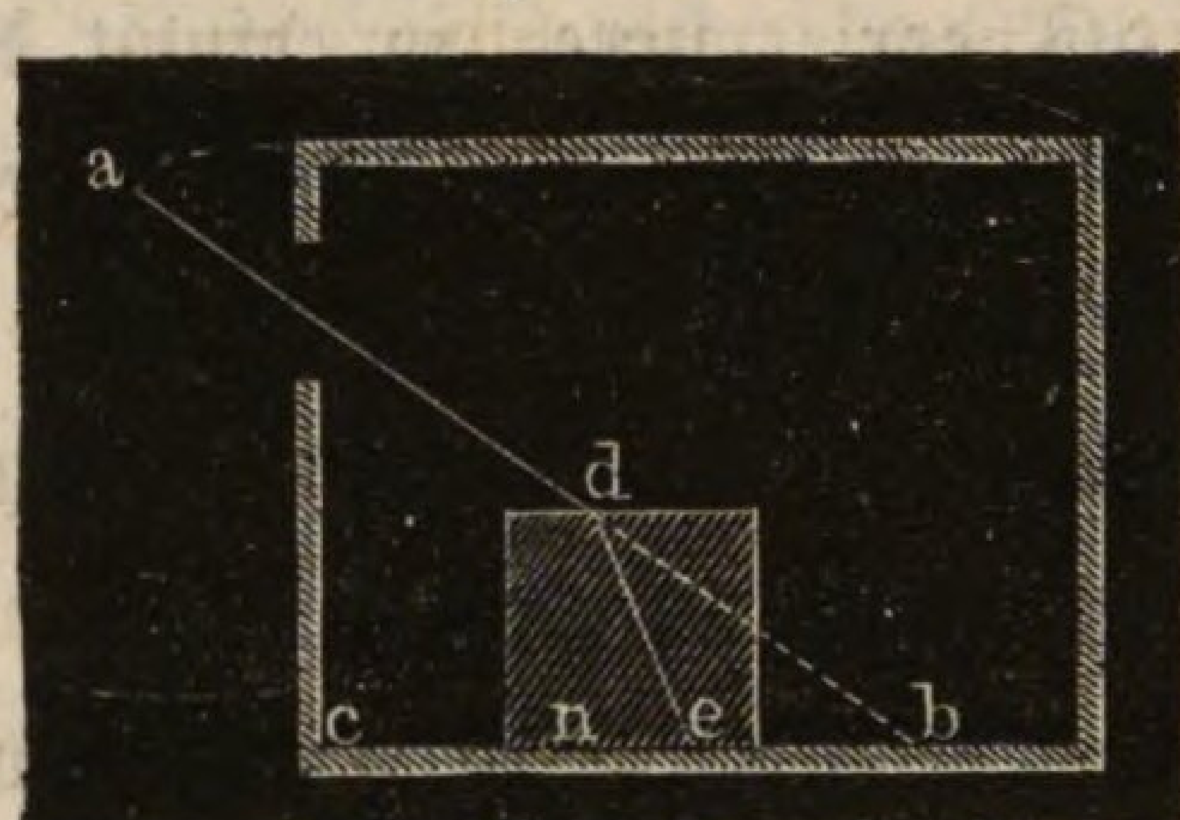
Fig. 93.



Geldstücks m sieht, das Uebrige aber durch den Rand b des Gefäßes bedeckt ist. Gießt man nun Wasser in das Gefäß, so scheint in dem Maße, in welchem der Spiegel des Wassers steigt, sich auch das Geldstück zu erheben, bis es endlich ganz sichtbar wird, obgleich es ruhig an seiner Stelle liegen blieb. Das Licht gelangt mithin jetzt nicht in gerader Linie von m zum Auge, aber es verbreitet sich sowohl im Wasser als auch in der Luft nach geraden Linien. Es beschreibt demnach eine gebrochene Linie n i o.

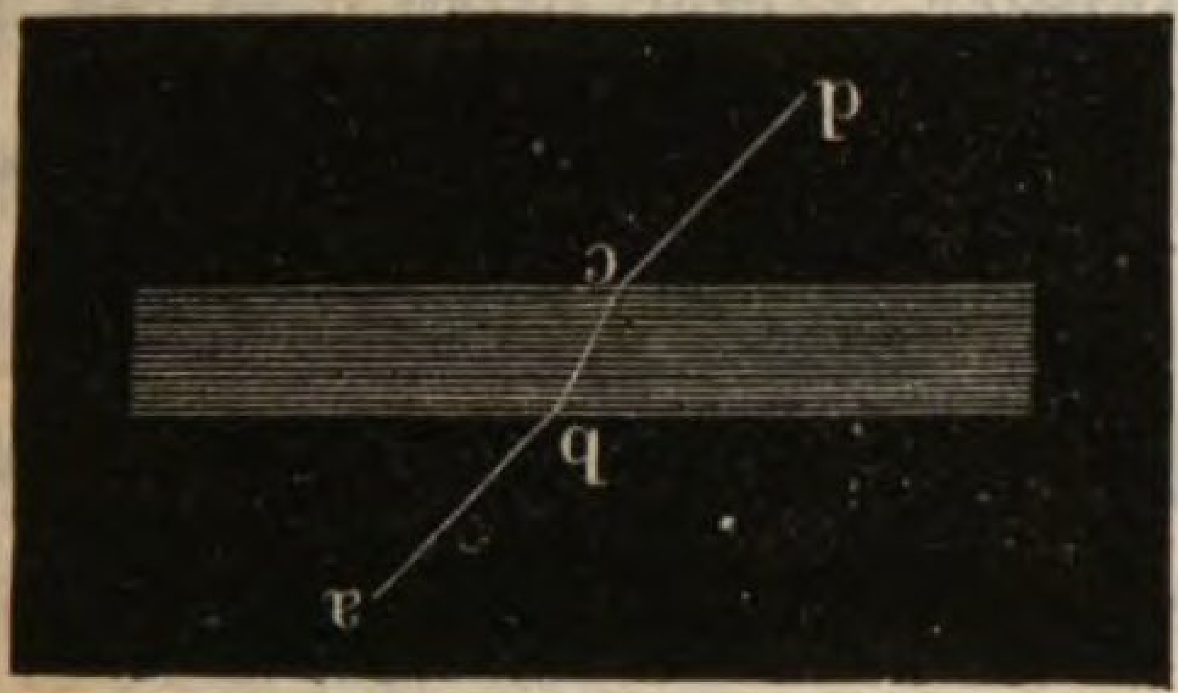
Läßt man in ein verfinstertes Zimmer durch eine enge Öffnung einen Sonnenstrahl a d hineinfallen und bemerkt den Punkt b *(Fig. 94 A.)*, in welchem derselbe eine wagerechte Fläche b c trifft, und stellt auf diese Fläche einen Würfel aus Glas, so gelangt der durch das Glas hindurchgehende Lichtstrahl nicht mehr nach b, sondern wird nach e gebrochen. Mißt man nun den Einfallswinkel, so findet man, daß sich ihre Sinus wie 3 : 2 verhalten, welches auch immer die Richtung des einfallenden Strahls a d sein mag.

Fig. 94 A.



Geht ein Lichtstrahl durch einen in einem durchsichtigen Mittel befindlichen durchsichtigen Körper, welcher von parallelen Wänden begrenzt ist, z. B. durch eine in der Luft befindliche Glasscheibe hindurch, so ist der austretende Lichtstrahl c d *(Fig. 94 B.)* mit dem auffallenden a b parallel. Denn dieser Lichtstrahl wird in b bei seinem Eintritt in das Glas ebenso

Fig. 94 B.



sehr zum Einfallslothe, als bei seinem Austritt in c vom Einfallslothe gebrochen. Man sieht daher durch unsere Fensterscheiben, wenn diese von parallelen Flächen begrenzt sind, alle Gegenstände bis auf eine unbedeutende Verrückung, welche von der Dicke des Glases abhängt, an derselben Stelle, an welcher sie sich wirklich befinden.

Solches ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn die Flächen des Glases, durch welches das Licht hindurchgeht, mit einander einen Winkel bilden.

Nach der Emanationstheorie erklärt man das Brechungsgesetz durch die Annahme, daß die materiellen Theile der Körper auf die Lichttheilchen eine anziehende Kraft ausüben, während man andererseits in directem Widerspruche hiermit zur Erklärung der Zurückwerfung nach derselben Theorie annehmen muß, daß die materiellen Theile der Körper auf die Lichtstrahlen abstoßend wirken. Nach der Undulationstheorie ergiebt sich das Brechungsgesetz ebenso, wie das der Zurückwerfung aus den Gesetzen der Wellenbewegung, wenn man annimmt, daß der in den Poren verschiedener Körper enthaltene Äther eine verschiedene Elasticität besitzt, und daß die das Licht fortpflanzenden Ätherwellen sich in solchen Körpern, welche das Licht stärker brechen, langsamer ausbreiten, als in den das Licht schwächer brechenden Körpern.

Der Brechungsexponent zweier Mittel giebt nach dieser Hypothese das Verhältniß der Geschwindigkeiten an, mit denen sich das Licht in denselben fortpflanzt; so ist z. B. für den leeren Raum und für Wasser der Brechungsexponent gleich 4 : 3. Da nun das Licht im leeren Raume in jeder Sekunde 42000 Meilen durchläuft, so würde es im Wasser nur

31500 Meilen in der Sekunde zurücklegen. Ebenso muß das Licht in der Luft sich etwas langsamer fortpflanzen, da es bei dem Uebergange aus diesem in die Luft zum Einfallslothe gebrochen wird.

Von besonderem Interesse ist die atmosphärische Strahlenbrechung, welche stattfindet, indem das Licht der Sonne oder anderer Himmelskörper in die Atmosphäre eintritt, und so zum Einfallslothe gebrochen wird; da aber die Dichtigkeit der Atmosphäre mit der Tiefe zunimmt, so erleidet das Licht, sowie es in die tiefern Schichten gelangt, immer neue Brechungen zum Einfallslothe. Das Licht der Himmelskörper kommt daher durch die Atmosphäre nicht in gerader Linie, sondern in krummer Linie zu uns, und daher erblicken wir die Gestirne nicht an der Stelle, an welcher sie sich befinden, sondern in der Richtung einer krummlinigen Bahn, in welcher das Licht zu unserm Auge gelangt.

Da nun die Brechungen, welche die von den Gestirnen ausgehenden Lichtstrahlen in der Atmosphäre erleiden, sämmtlich zum Einfallslothe stattfinden, so sehen wir alle Gestirne in größerer Höhe über dem Horizonte, als sie sich wirklich befinden. Je schiefer die Lichtstrahlen auf die Atmosphäre auffallen, um so stärker werden sie auch gebrochen. Die Strahlenbrechung ist daher in der Nähe des Horizonts am größten und beträgt etwas über $1/2^{0}$.

Die astronomische Strahlenbrechung ist für alle Gestirne dieselbe, dagegen ist die irdische Strahlenbrechung für entferntere Gegenstände beträchtlicher, als für nähere.

Mitunter ist die Strahlenbrechung sehr groß, und dann werden zuweilen durch dieselbe unter dem Horizonte liegende entfernte Gegenstände sichtbar, welche man für gewöhnlich nicht sehen kann; so hat man z. B. verschiedene Male an den Küsten

von England bei Hastings die ungefähr 10 Meilen entfernte französische Küste gesehen, obschon eine gerade beide Küsten verbindende Linie die See durchschneiden würde; auch erblickt man entfernt liegende Gegenstände, welche nach kurzer Zeit wieder verschwinden und wahrscheinlich dadurch wieder entstehen, daß eine ungewöhnlich starke Strahlenbrechung dieselben für kurze Zeit sichtbar macht.

Eine totale Zurückwerfung der Lichtstrahlen findet dann Statt, wenn z. B. diejenigen Strahlen im Wasser, für welche der Einfallswinkel kleiner ist, als der Grenzwinkel, bei ihrer Ankunft an der Oberfläche des Wassers zum Theil reflectirt und zum Theil gebrochen werden und in die Luft austreten; es wird dann ein Lichtstrahl im Wasser, welcher mit der Oberfläche desselben einen kleinern Winkel oder mit dem Einfallsloth einen größeren Winkel bildet, nur zurückgeworfen.

Auf der totalen Zurückwerfung beruht die höchst interessante Erscheinung, welche als Luftspiegelung bezeichnet wird. Es kommt nämlich vor, daß man tief liegende Gegenstände auf Ebenen verdoppelt sieht, so daß man die Abspiegelung entweder über dem wahren oder unter dem eigentlichen Bilde wahrnimmt, wodurch zu manchen Täuschungen Veranlassung gegeben worden ist.

Ein Schiff, welches man bei ruhigem Wetter von ferne und am Horizonte erblickt, zeigt mitunter zwei Bilder, ein aufrechtes und ein umgekehrtes, welches jedoch dem erstern ganz gleich ist, und gerade so aussieht, als ob es durch Reflex in einem Spiegel hervorgerufen worden ist. Eine solche Spiegelung hat ihre Ursache in der Temperaturverschiedenheit des Wassers und der Luft, und tritt meistens bei schnellem Temperaturwechsel ein. Ist der Boden bedeutend wärmer, als die Luft in der Höhe unseres Auges, so werden wir zuerst den zu beobachtenden Gegenstand geradezu sehen, aber ein zweiter nach unten gegan-

gener Strahl erleidet eine Krümmung, und wir werden den Gegenstand mehre Male unter seinem eigentlichen Bilde verkehrt sehen, als ob es sich hier abspiegele. Ist aber die Luft in der Tiefe kälter, als einige Fuß höher, so werden wir die Spiegelung über dem wirklichen Bilde wahrnehmen. Da nun übrigens das Wasser wegen seiner beständigen Verdunstung nicht eine so hohe Temperatur annehmen kann, als das sandige Erdreich, so kommt diese Spiegelung seltener auf dem Meere vor und ist von kurzer Dauer; dagegen soll auf einigen sandigen Ebenen in Ägypten diese Erscheinung fast täglich wiederkehren.

Eine solche Täuschung soll nach Monge die französische Expedition in Ägypten mehrfach erfahren haben, denn Niederägypten hat eine weite vollkommen horizontale Ebene, welche durch kleine Erhöhungen unterbrochen ist, auf denen sich Dörfer befinden. Ist nun die Oberfläche des Bodens durch die Sonne erhitzt, so entsteht, wie bei uns, an heißen Sommertagen eine zitternde Bewegung, und man kann bei der Unbeweglichkeit der auf dem Boden ruhenden Luftschichten, welche durch Berührung mit dem Boden erhitzt werden, die herrlichste Luftspiegelung beobachten. Denn die sämmtlichen Dörfer gewähren den Anblick, als ob sie in einer großen Ueberschwemmung sich befänden und lassen unterhalb ihr verkehrtes Bild erscheinen, d. h. man sieht unter jedem Dorfe dessen umgekehrtes Bild, wie man es im Wasser wahrnehmen würde. Je näher man nun dieser Täuschung kommt, desto mehr verschwindet sie und überträgt sich auf ein entfernter liegendes Bild.

So beobachteten, um hier noch eines Beispiels Erwähnung zu thun, Biot und Matthieu bei Dünkirchen am Ufer des Meeres auf einer sandigen Ebene ähnliche Erscheinungen, und Biot hat dargethan, daß unter gewissen Umständen, von dem Punkte aus, wo der Beobachter sich befindet, man sich eine Linie

gezogen denken kann, so daß sämmtliche Gegenstände, welche sich unter derselben befinden, unsichtbar bleiben, während man von den Gegenständen, welche sich über derselben befinden, zwei Bilder sieht, nämlich ein direktes über und ein verkehrtes unter dieser Linie.

Man beobachtet jedoch nicht allein solche Bilder unter oder über dem Gegenstande, sondern man hat sie auch seitwärts vom Gegenstande wahrgenommen. Denn findet eine solche Temperaturverschiedenheit zwischen nicht vertikal über einander liegenden, sondern zur Seite an einander gränzenden Schichten Statt, so muß natürlich auch eine solche Luftspiegelung erfolgen, und in der That ist eine solche seitliche Luftspiegelung von Jurine und Soret am Genfersee beobachtet worden. Um sich dies aber erklären zu können, muß man sich die Lage des See's vergegenwärtigen. Das eine auf der Sonnenseite gelegene Ufer ist von hohen Bergen eingefaßt, das andere dagegen, welches nördlich die Grenze des See's bildet, ist den Sonnenstrahlen ausgesetzt. Es ist also sehr wohl einleuchtend, daß durch die Art, wie die Ufer von der Sonne beschienen werden, augenblicklich bei ruhigem Wetter eine Verschiedenheit der Temperatur und Dichtigkeit hervorgebracht wird, woraus dann die Beugung der Strahlen folgt.

Zerlegung des Lichts.

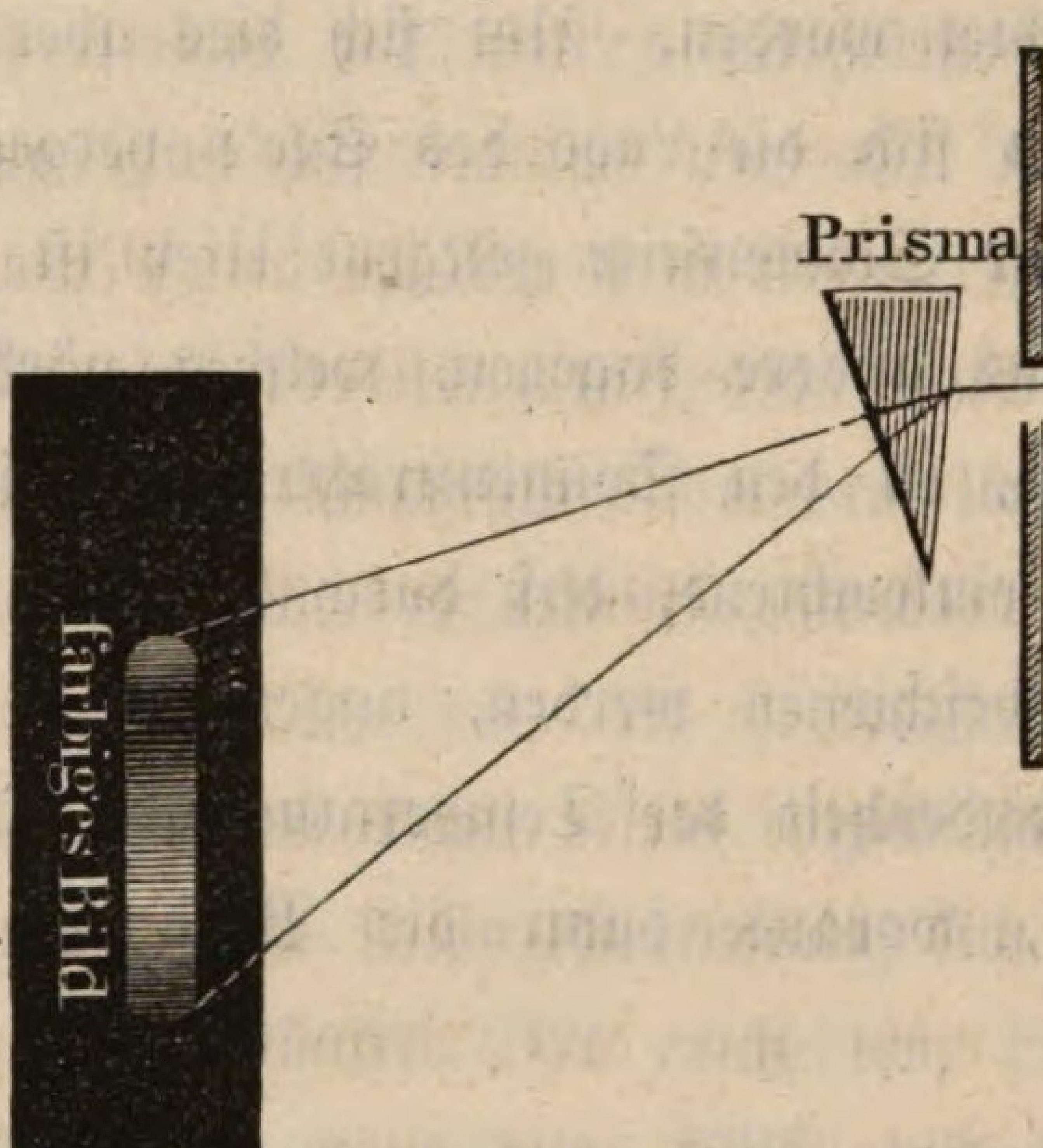
Die bisherige Besprechung bezog sich nur auf Lichtstrahlen des weißen unzerlegten Lichts. Betrachten wir aber die weiteren Eigenschaften, so ist eine der interessantesten die Verschiedenheit der Farbenerscheinung, welche wahrnehmbar wird, wenn das weiße Licht durch gewisse Mittel zerlegt wird. Gewöhnlich haben wir den Eindruck des weißen Lichts in unserm Auge; wird aber z. B. das weiße Licht mittelst eines prismatischen Mittels auf-

gefangen, so wird das Licht zerlegt, und wir nehmen dann ein Farbenbild (Spectrum genannt) wahr, dessen Beschaffenheit von dem Prisma, dessen Stellung und Dichtigkeit abhängt.

Um sich von einer solchen Zerlegung oder vielmehr Zusammensetzung des Lichts zu überzeugen, verfährt man am besten auf folgende Weise.

Man lasse mit Hülfe eines Spiegels, welcher vor der engen Öffnung des Fensterladens eines dunklen Zimmers angebracht ist, einen Sonnenstrahl in dasselbe fallen, so daß er auf seinem Wege von einem keilförmigen Stücke Glas, dem Prisma *(Fig. 95.)* aufgefangen wird. Ohne dieses Prisma würde man auf einer weißen Wand oder auf einem Bogen weißen Papiers ein weißes, rundes Sonnenbild wahrnehmen; da aber der Strahl sowohl bei seinem Eintritt in das Glas, als auch wieder bei seinem Austritt gebrochen wird, so sieht man auf dem Papiere einen länglichen Raum mit verschiedenen Farben sich bilden, welche man übrigens schon ohne Sonnenbild wahrnimmt, wenn man durch ein Prisma nach einem schmalen hellen Gegenstand hinsieht.

Fig. 95.



Der berühmte Newton beobachtete in diesem Farbenbild die verschiedenen Farben, nämlich von oben an gezählt: Violett, Indigo, Blau, Grün, Gelb, Orange, Roth.

Der Sonnenstrahl, welchen man vermittelst des Sonnenspectrums in den dunklen Raum gehen läßt, wird bei seinem

Durchgange durch das Prisma in verschiedene Strahlen zerlegt, welche auf eine verschiedene Weise gebrochen werden, d. h. manche werden mehr von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt als die übrigen; so werden die blauen Strahlen mehr abgelenkt, als die gelben, die gelben mehr als die rothen und daher sind natürlich die violetten Strahlen stärker brechbar, als die rothen.

Nach Brewster hat man nur drei Hauptfarben, nämlich die Primärfarben Blau, Gelb und Roth, anzunehmen, durch deren Vermischung die übrigen entstehen. Wir erblicken an jeder Stellung des Farbenbildes ein wenig weißes Licht, und auch etwas von jeder dieser drei Primärfarben, aber an einer besondern Stelle herrscht immer eine der drei Farben vor. Ist der Brechungswinkel nach oben gekehrt, so steht die violette Farbe am tiefsten, d. h. die rothen Strahlen befinden sich nahe an der Spitze des Farbenbildes, die gelben in der Nähe der Mitte und die blauen nahe an der Spitze des Farbenbildes; folgen aber die sieben Farben nach Newton, wie sie aufgezählt worden sind, auf einander, so ist der brechende Winkel des Prisma's nach unten gekehrt.

Vergleicht man nun die Reihe dieser sieben Farben und die Lage der rothen, gelben und blauen Strahlen im Farbenbild mit einander, so möchten wohl nur drei Primärfarben anzunehmen sein, und die orangenfarbenen aus einer Mischung der gelben und rothen, die grünen aus den gelben und blauen entstehen; die Indigofarben und violetten, im Grunde genommen blauen Farben empfangen ihre Nüancen durch die rothen und gelben.

Das ganze Farbenbild besteht aus einer Reihe kreisförmiger Bilder, welche aufeinander folgen und sogar übereinander fallen; je kleiner die Öffnung ist, durch welche der Lichtstrahl fällt, desto kleiner sind die runden Bilder, aber auch desto reiner, weil sie nicht so sehr übereinander fallen.

Aus dem Gesagten ergiebt sich, daß das weiße Licht nicht einfach, sondern zusammengesetzt ist und daß die verschiedenfarbigen Strahlen des Lichtes durch die verschiedene Größe ihrer Brechbarkeit sich von einander unterscheiden.

Eine jede Farbe des Farbenbildes ist einfach, und läßt sich nicht weiter zerlegen, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man ein Farbenbild an einer Wand aufhängt und an einer bestimmten Stelle ein Loch macht; es wird dann ein einfacher Strahl hindurchgehen, welcher sich von Neuem durch ein Prisma nicht zerlegen läßt. Dagegen kann man aus den einfachen Farben des Farbenbildes wieder ein weißes Licht bilden, wenn man die Strahlen von verschiedener Farbe durch eine Linse sammelt und das Sonnenbild auf einem Schirm von Papier auffängt; das Licht wird alsdann blendend weiß erscheinen.

Schließt man nun aber eine bestimmte Strahlengattung, z. B. die rothen Strahlen durch einen vorgesetzten Schirm aus und vereinigt die übrigen Strahlen, so erhält man nicht Weiß, sondern Grün; wenn man aber umgekehrt aus dem prismatischen Farbenbilde die grünen Strahlen ausscheidet und die übrigen vereinigt, so erhält man Roth. — Solche Farben, welche sich wie Roth und Grün in dem angeführten Beispiele verhalten, nennt man complementäre Farben; demnach sind complementäre Farben also zunächst Roth und Grün, ferner Orange, Blau, Gelb und Violett.

Die Körper werden also durch weißes aus allen verschiedenen farbigen Strahlen zusammengesetztes Licht erleuchtet und diejenigen Farben, mit denen die Körper uns dann erscheinen, nennen wir natürliche Farben. Diese Farben erleiden jedoch Veränderungen, wenn die Körper nicht durch weißes, sondern durch einfaches Licht beleuchtet werden. Fällt z. B. auf eine weiße Fläche nur rothes Licht, so kann dieselbe natürlich auch

nur rothes Licht zurückwerfen und muß uns daher roth erscheinen. Dies nehmen wir auch bei den Wolken und anderen weißen Körpern wahr, wenn sie von der Abendröthe erleuchtet werden, wo sie uns dann roth erscheinen. Ein Körper, welcher für gewöhnlich, d. h. im weißen Tageslicht roth erscheint, thut dieses natürlich auch dann, wenn er nur von rothen Strahlen getroffen wird, weil er ja gerade diese vorzugsweise zurückzuwerfen vermag. Ein Körper hingegen, welcher die rothen Strahlen gar nicht zurückzuwerfen vermöchte, müßte im rothen Licht schwarz erscheinen, welches auch immer die Farbe sein mag, mit der er sich sonst in weißem Licht zeigt.

Durchsichtige Körper, wie z. B. der Bergkrystall, thun dies entweder in ziemlich gleichem Verhältniß, wie alle Strahlengattungen, und heißen dann wasserhell oder sie lassen vorzugsweise nur gewisse Strahlengattungen durch, während sie die übrigen in stärkerem Verhältniß verschlucken, unterscheiden sich dann mit einer bestimmten Farbe.

Gegenstände, welche am Tage oder vielmehr im Sonnenlicht blau erscheinen, werden des Abends beim Kerzenlichte grau aussehen, wofür die Ursache in dem größern Antheile gelben Lichts, welches die brennende Kerze verbreitet, zu suchen ist. Für die Entstehung der eigenthümlichen Farben pflegt man gewöhnlich die obige Erklärung anzuführen, daß der in einer bestimmten Farbe im Sonnenlicht erscheinende Körper die Eigenschaft besitze, von dem auf ihn fallenden Lichte gewisse Farbenstrahlen zu verschlucken, die übrigen aber, die zusammen eine bestimmte Mischfarbe geben, welche ihm eigenthümlich ist, zurückzuwerfen. Brewster hat jedoch hierfür eine noch genauere Erklärung gegeben. Derselbe nimmt die Grundfarben Roth, Gelb und Blau an und nach seiner Ansicht wird aus diesen drei Farben in dem Verhältniß, in welchem sie im Sonnenlicht vorkommen, gemischt ein

reines, weißes Licht erhalten. Verschluckt aber ein Körper, auf welchen dieses weiße Licht fällt, von diesen drei einfachen Farben einige oder mehrere, oder verhindert er ihren Fortgang, so wird er von der Farbe erscheinen, welche aus dem Strahl derer besteht, die nicht verschluckt wurden, oder von der Farbe, welche das weiße Licht haben würde, wenn ihr die Farben, welche verschluckt wurden, entzogen würden.

So verschluckt z. B. ein scharlachrothes Tuch die meisten blauen Strahlen und mehrere der gelben. Daher erscheint es roth. Ein gelbes Tuch verschluckt die meisten blauen und mehrere der rothen Strahlen, und sieht daher gelb aus. Erleuchtet man ein blaues Tuch mittelst gelber Strahlen, so wird es fast schwarz erscheinen, denn es verschluckt fast sämmtliches gelbe Licht und strahlt fast keins zurück.

Würde ein Körper alle Farben des weißen Lichts verschlucken, und nur eine, z. B. die rothe, zurückwerfen, so müßte er in jedem andern als dem rothen, z. B. im blauen Lichte als Prisma vollkommen dunkel erscheinen; aber die meisten Körper werfen, wie schon früher erwähnt worden ist, nur eine Art von Farbestrahlen zurück. Auch von durchsichtigen und durchleuchtenden Körpern kann man auf ähnliche Weise annehmen, daß sie einen farbigen Antheil des sie treffenden weißen Lichts verschlucken, und einen andern durchlassen.

Körper, welche alles auf sie fallende Licht durch sich hindurchlassen, oder solche, welche alles auf sie fallende Licht zurückwerfen, giebt es nicht, sondern alle Körper verschlucken mehr oder weniger das auf sie fallende Licht; mithin kann es auch keinen vollkommen weißen Körper geben, denn ein solcher müßte alles auf ihn fallende Sonnenlicht, ohne irgend eine Verschluckung, zurückwerfen. — Als ein vollkommen schwarzer Körper ist der zu betrachten, welcher alles auf ihn fallende Licht in sich

aufnimmt, und ein durchsichtiger ist der, welcher alles auf ihn fallende Licht zurückwirft oder verschluckt.

Trotz diesen Betrachtungen und Annahmen wird sich Niemand befriedigt fühlen, sondern ein Jeder wird fragen, wie wir uns die Verschiedenartigkeit der natürlichen Farben zu erklären haben.

Versuche lehren uns täglich, daß oft Körper ohne Veränderung in ihrer sonstigen Beschaffenheit einen Farbenwechsel erleiden und dennoch können wir wohl annehmen, daß die einem Körper eigenthümliche Farbe mit dem Bau der ihn zusammensetzenden Elementartheilchen zusammenhängt, wodurch ihm die Eigenschaft zu Theil wird, gewisse Farbestrahlen des auf ihn fallenden Lichts zurückzuwerfen.

Einen jeden Körper nehmen wir als aus kleinen Theilchen bestehend an, die wir ohne Rücksicht auf seine Zusammensetzung Moleküle nennen.

Daß eine die engeren oder größeren Zwischenräume gestattende Anhäufung dieser Moleküle, oder überhaupt deren verschiedene Anordnung einen Einfluß auf die Färbung, oder, besser gesagt, auf die Zurückwerfung oder Verschluckung des Lichts ausübt, läßt sich wohl nicht ganz in Abrede stellen, da mannigfache Thatsachen dafür sprechen. Aber jedenfalls sind bei vielen Körpern noch manche andere Einflüsse zu berücksichtigen, die sicher ein Hauptbedingniß für ihre Färbung ausmachen.

Die chemischen Veränderungen, welche an den Naturkörpern vor sich gehen, beweisen uns, daß mit einer Farbenveränderung oft auch die sämmtlichen Eigenschaften des Körpers einen Wechsel erfahren, und gewiß trügt uns oft der Schein, indem wir glauben, in dem einen oder anderen Körper sei keine Umwandlung vor sich gegangen, wenn er seine Farbe verändert hat, bis dann die Untersuchung die Thatsache aufdeckt.

Auf der andern Seite dürfen wir aber auch nicht einen jeden Farbenwechsel mit chemischem Auge betrachten und denselben stets als eine Wirkung chemischer Thätigkeit ansehen, wiewohl es, wie uns die Erfahrung lehrt, sehr häufig der Fall ist, und da haben wir denn den Farbenwechsel als Wirkung der veränderten, chemischen Beschaffenheit oder vielmehr in einer von den Bestandtheilen abweichenden Anordnung der Mischungstheilchen in der neuen chemischen Verbindung zu suchen.

Für die beiden erwähnten Fälle ließen sich eine Reihe von Thatsachen anführen. Als Beispiel des ersteren mag der Phosphor dienen, denn wenn derselbe im reinen Zustande wiederholt einer Destillation unterworfen wird, so ist er durchsichtig weiß, wie man ihn gewöhnlich käuflich erhält; bei langsamer Erkaltung bleibt er halb undurchsichtig; wird er aber im geschmolzenen Zustande in eiskaltes Wasser gegossen, um ihn rasch abzukühlen, mit einem Glasstabe rasch umgerührt, so wird er plötzlich undurchsichtig, und sogar schwarz. Jedoch ist zu bemerken, daß der Phosphor ganz rein sein muß. — Wie aber oftmals die Farben der Mischungen zu denen der Bestandtheile in gar keiner Beziehung stehen, sehen wir im zweiten Fall, nämlich bei chemischen Operationen und besonders durch die vielfach vorkommenden gefärbten Niederschläge.

Werfen wir nun einige Blicke auf unsere Atmosphäre und deren verschiedene Färbung, so können wir dieselbe mittelst des durchgelassenen und zurückgeworfenen Lichts erklären. Die Atmosphäre ist bekanntlich mit wechselnden Mengen Wasserdampf angefüllt. Wird nun derselbe so verdichtet, daß er dem Auge in Gestalt von Nebel oder Wolken erscheint, so wird die eine Art von Farbestrahlen mehr durchgelassen oder zurückgeworfen, als die andere; eine Nebelmasse sieht weiß aus, wenn die Sonne auf sie scheint; die von der Sonne stark erhellten Wolken

erscheinen mit weißem Glanze, werden sie aber von einem schwachen Lichte getroffen, so sehen die Wolken grau aus, und die grauen Schattirungen der an einer Seite von der Sonne beleuchteten, aufgethürmten Wolken zeigen ihre beschatteten Theile, abstehend von den erleuchteten. Auch die durchgelassenen Strahlen sind rein weiß, denn die durch einen dicken Herbstnebel hindurchblickende Sonne erscheint bekanntlich rein weiß. Wird hingegen der Rauch von der Sonne beschienen, so erscheint er blau, indem die gelben und rothen Strahlen hindurchgelassen, die blauen aber zurückgeworfen werden. Die reine weniger mit Wasserdampf angefüllte Luft scheint hingegen die Eigenschaft zu besitzen, die mehr brechbaren Strahlen, welche zusammen die blaue Farbe liefern, besser zurückzuwerfen, und die weniger brechbaren, die in ihrer Mischung orange geben, vorzugsweise durchzulassen, wodurch sich die blaue Farbe des Himmels und das Roth der Abendröthe erklären läßt.

Ist hingegen das Licht mit Dünsten angefüllt, die schon niedergeschlagen werden, so sieht der Himmel weißlich aus, weil von diesen Dünsten weiße Strahlen zurückgeworfen werden, die sich mit der blauen Farbe der in der Luft gleichsam in jedem Lufttheilchen zurückgeworfenen Strahlen mischen, wovon die Folge ist, daß zu solchen Zeiten auch die Abendröthe weißlich oder hellgelb erscheint; die Sonne geht dann nicht roth, sondern weißlich oder gelb unter.

Die Erscheinung der Morgen- und Abendröthe läßt sich auch so erklären, daß gegen Sonnenuntergang, wenn die Bildung des Thau's beginnt, sich die in der Luft enthaltenen Wasserdämpfe in einem Uebergang vom gasförmigen in den dunstförmigen, d. h. dichteren Zustand befinden, und nun in diesem Zustande in einem stärkeren Verhältniß die rothen und gelben Sonnenstrahlen durchlassen, während der ausgedehntere Wasser-

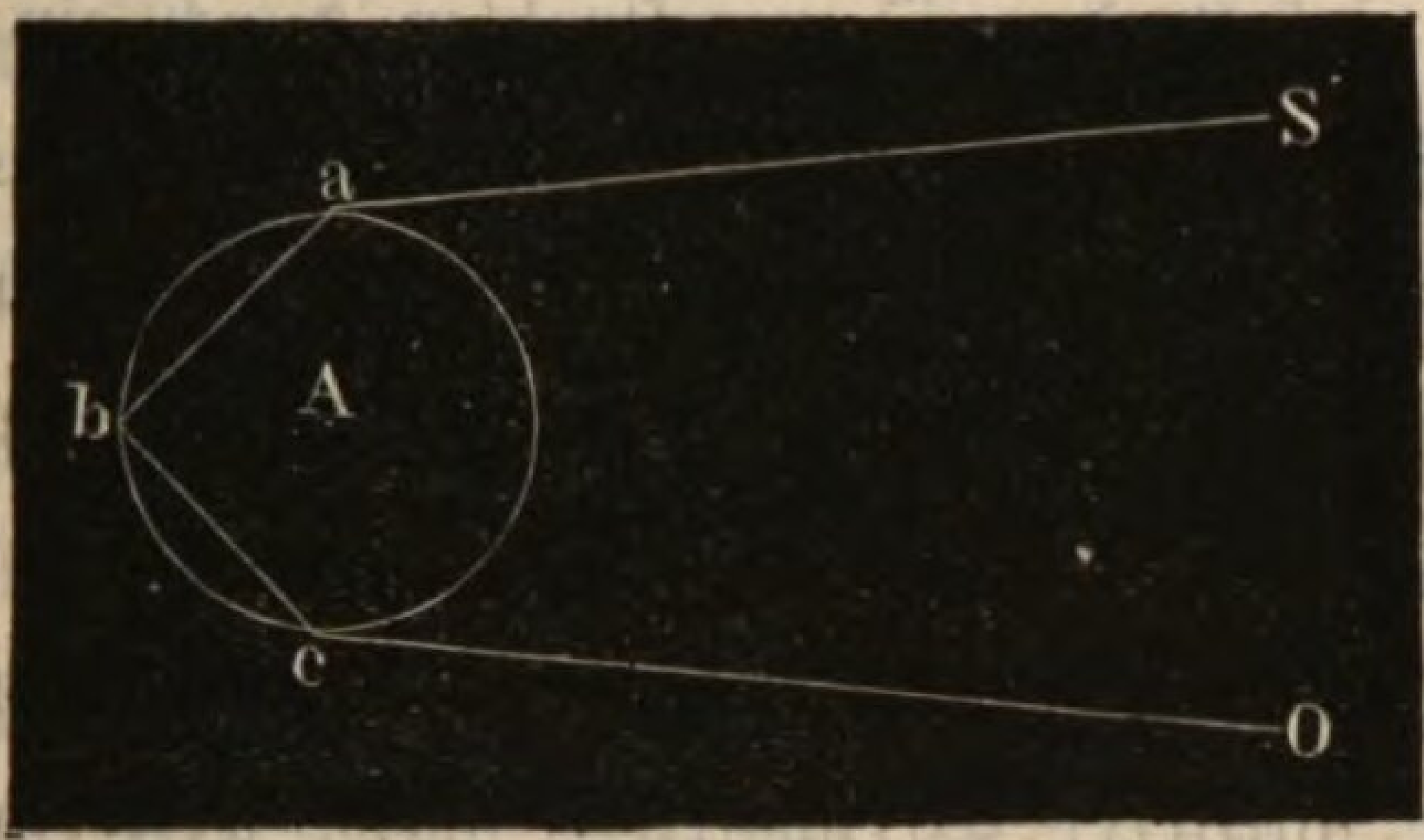
dampf als vollkommen durchsichtig betrachtet werden darf und alle das weiße Licht zusammensetzende Strahlen in gleichem Verhältniß durchläßt.

Des Morgens, nachdem die Sonne aufgegangen ist und in Folge der Erwärmung der Atmosphäre und der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen der in der Nacht gefallene Thau wieder in den gasförmigen Zustand übergeht, findet in umgekehrter Richtung derselbe Vorgang und also auch dieselbe Erscheinung Statt. — Daß nun die Abendröthe mit einer weit prachtvolleren Farbe auftritt, erklärt sich daraus, daß der Uebergangsproceß des Morgens erst dann eintritt, wenn die Sonne schon eine bedeutende Höhe erreicht hat, also die Strahlen derselben einen kürzeren Weg in der Atmosphäre zurücklegen, als des Abends bei Sonnenuntergange, wo die Sonnenstrahlen in den unteren Schichten der Atmosphäre, in denen vorzüglich dieser Übergang der Dünste in den dichteren Zustand der Dunstbläschen stattfindet, der Fall ist.

Eine herrliche Erscheinung, welche uns zu Zeiten das prismatische Farbenbild liefert, ist der Regenbogen, welcher bekanntlich nur dann auftritt, wenn während des Regens zugleich die Sonne scheint. Der Regenbogen zeigt sich jedes Mal der Sonne gegenüber. Die Sonnenstrahlen, welche die Erscheinung desselben veranlassen, können daher von den Regentropfen nur durch eine Zurückwerfung in unser Auge gelangen; da aber die Zurückwerfung nicht allein mit einer Farbenzerstreuung verbunden ist, sondern diese in Folge einer Brechung des Lichts erscheint, so können nur solche Strahlen, welche in die Wassertropfen selbst eingetreten sind, den Regenbogen erzeugen.

Denkt man sich den Durchschnitt eines Regentropfens A *(Fig. 96)*, dessen Oberfläche von einem Sonnenstrahl S a getroffen wird, so wird letzterer in b zum Theil hindurchgelassen,

Fig. 96.



theils auch in der Richtung b c zurückgeworfen; er erfährt nun eine zweite Brechung und erreicht so nach einer zweimaligen Brechung und einmaligen Zurückwerfung das Auge des Beobachters in O.

Daß nun von ein- und demselben Regentropfen nicht alle verschiedenfarbigen Strahlen in gleichem Verhältniß das Auge treffen, rührt von der ungleichen Brechbarkeit der das weiße Sonnenlicht zusammensetzenden verschiedenfarbigen Strahlen her.

Der Beobachter empfängt daher von dem einen Regentropfen namentlich rothe, von dem andern vorzugsweise gelbe Strahlen u. s. w. Die Tropfen aber, welche die nämliche Strahlengattung in's Auge senden, liegen auf einem Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in der Verlängerung, der durch die Sonne und das Auge des Beobachters jede Linie fehlt, und haben natürlich eine ganz gleiche Lage gegen die Sonne und den Beobachter.

Zerstreuung des Lichts.

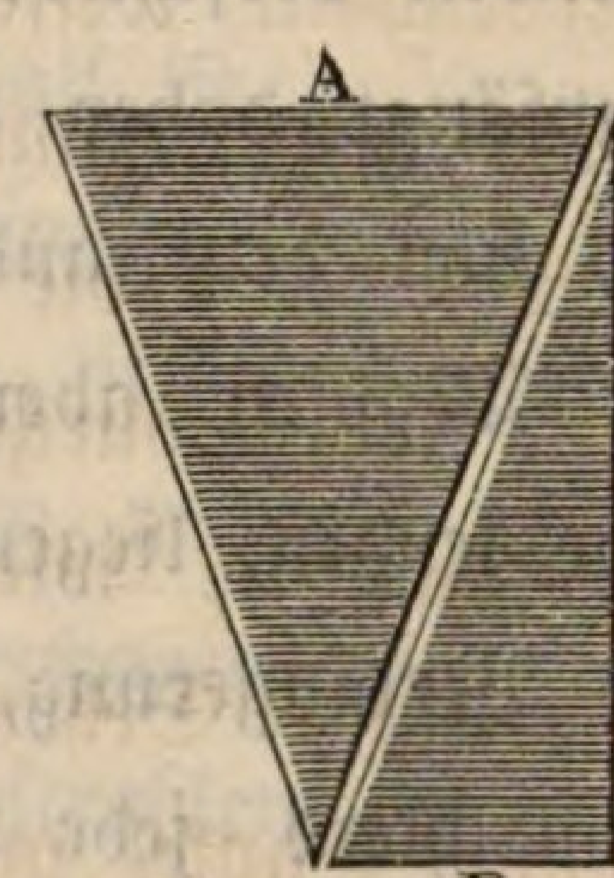
(Achromatismus.)

Bei einer durchsichtigen Substanz ist von dem Brechungsvermögen das Zerstreuungsvermögen zu unterscheiden. Man nennt solche Substanzen, welche die Eigenschaft besitzen, die Lichtstrahlen abzulenken oder sie zugleich zu zerlegen, achromatisch.

Läßt man z. B. in einem dunklen Gemach durch eine kleine Öffnung die einfallenden Sonnenstrahlen durch ein Prisma hindurchgehen, so hängt der Winkel, um welchen das Sonnenbild von seiner früheren Stelle fortgerückt wird, von dem Brechungsvermögen, die Ausdehnung aber, welche dasselbe hierbei in der Länge erfährt, von dem Zerstreuungsvermögen des Prisma's ab. Das Brechungsvermögen wird durch den Brechungsexponenten der Strahlen mittlerer Brechbarkeit, das Zerstreuungsvermögen durch den Unterschied zwischen dem Brechungsexponenten der violetten und rothen Strahlen ausgedrückt. So bricht z. B. bleihaltiges Glas das Licht nur wenig stärker als Spiegelglas, während es die Farben in bedeutend größerem Verhältniß zerstreut, als dieses.

Wenn man zwei Prismen A B *(Fig. 97.)* so zusammen-

Fig. 97.



stellt, daß die brechenden Kanten nach entgegengesetzten Seiten gerichtet sind, so wird das eine die Wirkungen des andern mehr oder weniger vollständig aufheben. Die durch A hervorgebrachte Farben-Zerstreuung wird offenbar durch das Prisma B aufgehoben werden, wenn unter sonst gleichen Umständen ein jedes der beiden Prismen für sich allein ein eben so großes Farbenbild giebt, als das andere; denn in diesem Fall ist die Wirkung des Prisma's B bezüglich der Farbenzerstreuung der des Prisma's A gleich.

Ein solches Prisma ist zuerst von dem Engländer Dollond dargestellt worden.

Das Auge und die optischen Instrumente.

Das Sehen oder die Empfindung des Lichts rührt von einem Reiz besonderer Nerven her, deren feine Enden sich auf einer Nervenhaut unseres Auges ausbreiten. Die Lichtstrahlen bringen diesen Reiz hervor und wir empfinden dann die Helligkeit, während die Empfindung der Dunkelheit ihren Grund in einer vollkommenen Ruhe der Nervenhaut (Netzhaut) hat.

Um jedoch äußere Gegenstände durch das Gesicht zu unterscheiden, reicht es nicht hin, daß die von einem Körper ausgesandten Lichtstrahlen auf die Nervenhaut fallen, sondern es sind besondere lichttrennende Apparate nöthig, welche bewirken, daß die von einem leuchtenden Punkt ausgehenden Strahlen nur eine bestimmte Stelle der Nervenhaut treffen, und daß von dieser Stelle die von anderen Punkten herkommenden Lichtstrahlen abgehalten werden; auf diese Weise sind die verschiedenen Stellen der Netzhaut verschieden gereizt, und dadurch wird eine Unterscheidung möglich. Bei solchen Geschöpfen, wie bei denen der niedern Thierclassen, kann ein eigentliches Sehen nicht, sondern nur eine Unterscheidung von Licht und Dunkel und Tag und Nacht stattfinden; jedoch sind selbst für eine solche Lichtempfindung noch besondere Nervenapparate nöthig.

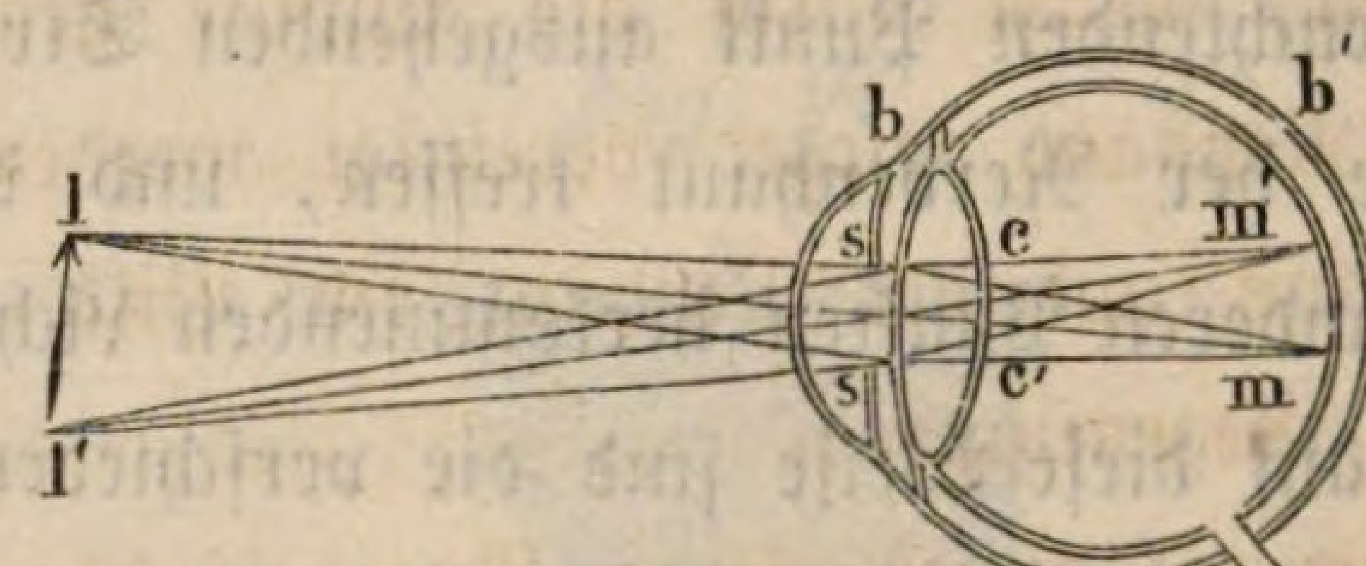
Nicht bei allen Thierclassen, bei denen ein eigentliches Sehen stattfindet, sind die zur Isolirung der Lichteindrücke bestimmten Apparate auf dieselbe Weise eingerichtet; man unterscheidet daher erstens mit Sammellinsen versehene Augen der Wirbelthiere, zweitens zusammengesetzte Augen der Insecten und Krebsthiere.

Bei den einfachen Augen mit Sammellinsen entsteht das

Bild auf der Netzhaut ganz auf dieselbe Weise, wie die Sammelbilder der gewöhnlichen Linsen. Die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden Strahlen, welche die Vorderfläche des Auges treffen, werden nämlich durch die durchsichtigen Mittel des Auges nach einem Punkte der Netzhaut hin gebrochen.

Der ganze Augapfel des Menschen ist von einer festen harten Haut b b umgeben, welche nur auf der Vorderseite durchsichtig ist; dieser durchsichtige Theil heißt die Hornhaut, der weiße, undurchsichtige Theil, die harte Haut. Hinter der Hornhaut liegt die farbige Regenbogenhaut, welche eben ist und die Wölbung der durchsichtigen Hornhaut gleichsam von dem übrigen Theil des Auges abschneidet. In der Mitte der Regenbogenhaut bei s s des beifolgenden Durchschnitts *(Fig. 98)* befindet sich eine

Fig. 98.



kreisförmige Öffnung, welche von vorn gesehen vollkommen schwarz erscheint; diese Öffnung führt den Namen Pupille. Hinter der Regenbogenhaut und der Pupille befindet sich in einer durchsichtigen Kapsel die Krystalllinse c c, durch welche sie auch an der äußern Wand der Hülle des Auges befestigt ist. Zwischen der Linse und der Hornhaut befindet sich eine klare etwas salzige Flüssigkeit, die wässerige Feuchtigkeit; der ganze Raum hinter der Linse ist mit einer durchsichtigen, gallertartigen Substanz der Glasfeuchtigkeit angefüllt; über der harten Haut ist im Innern des Auges die Aderhaut ausgebreitet und über dieser liegt endlich die Netzhaut, welche nur eine Ausbreitung des Sehnerven ist. Die Aderhaut, welche die ganze innere Höhlung des Auges

bekleidet, ist mit einem schwarzen Pigment überzogen und diese Schwärzung ist erforderlich, damit nicht durch Zurückwerfung im Innern des Auges die Reinheit der Bilder zerstört wird.

Die Lichtstrahlen, welche auf das Auge fallen, treffen entweder auf den vordern Theil der harten Haut und werden unregelmäßig nach allen Seiten zerstreut, oder sie dringen durch die Hornhaut in das Auge ein; die äußeren durch die Hornhaut eingedrungenen Strahlen fallen auf die Regenbogenhaut und werden nach allen Seiten hin unregelmäßig zerstreut, wodurch die Farbe der Regenbogenhaut sichtbar wird. Die mittleren Strahlen endlich fallen durch die Pupille auf die Linse und werden durch dieselbe nach der Netzhaut hingeworfen und zwar so, daß die von einem Punkte eines äußeren Gegenstandes ausgehenden Strahlen, welche durch die Pupille gehen, in einem Punkte auf der Netzhaut wieder vereinigt werden. Auf diese Weise entsteht dann auf der Netzhaut ein Bild des vor dem Auge befindlichen Gegenstandes.

In Betreff der zusammengesetzten Augen ist durch J. Müller's Untersuchungen dargethan worden, daß auf der erhabenen Nervenhaut eine ungeheuere Menge durchsichtiger Kegel rechtwinklig aufsteht und nur diejenigen Strahlen können die Grundlage eines solchen Kegels auf der Nervenhaut erreichen, die in der Richtung der Achse dieses Kegels einfallen. Alles seitlich einfallende Licht wird verschluckt, weil die Seitenwände der Kegel mit einem dunkelfarbigen Pigment bekleidet sind.

Das deutliche Sehen hängt von folgenden Bedingungen ab: 1) darf das auf der Netzhaut entstehende Bild nicht zu klein sein. — Die Größe dieses Bildes hängt von dem Gesichtswinkel, d. h. von dem Winkel ab, welchen die von dem Auge nach den äußersten Grenzen des gesehenen Gegenstandes gezogenen

Linien einschließen. — Der Gesichtswinkel wird um so kleiner, je kleiner der Gegenstand und je weiter derselbe von dem Auge entfernt ist. 2) Die Lichteindrücke im Auge dürfen nicht von einer zu kurzen Dauer sein. 3) Das Bild eines Gegenstandes muß auf die Netzhaut fallen, wenn derselbe deutlich gesehen werden soll.

Das Vermögen des Auges, sich nahen und fernen Gegenständen anzupassen, hat eine gewisse Grenze, denn man kann Gegenstände nicht mehr deutlich sehen, wenn sie dem Auge zu nahe gebracht werden. Die Entfernung, in welcher wir noch deutlich zu sehen vermögen, heißt die Sehweite, welche für ein gesundes Auge 8—10 Zoll beträgt.

Augen, deren Sehweite beträchtlich größer oder kleiner ist, nennt man weitsichtig oder kurzsichtig. Ein weitsichtiges Auge vermag eine kleine Schrift in der Nähe deshalb nicht mehr zu lesen, weil in der Entfernung, in welcher dasselbe deutlich sieht, die Bilder auf der Netzhaut zu klein werden. Das weitsichtige Auge bricht die Lichtstrahlen zu schwach.

Die Kurzsichtigkeit beruht dagegen auf dem Umstande, daß das kurzsichtige Auge die von entfernten Gegenständen ausgehenden Strahlen zu stark bricht, so daß die Vereinigungspunkte derselben vor die Netzhaut fallen; der Kurzsichtige muß daher, um entfernte Gegenstände deutlich zu sehen, d. h. um die Bilder derselben auf die Netzhaut zu bringen, hohle Brillengläser anwenden.

Die Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit sind indessen Fehler, deren Grund wohl am richtigsten darin zu suchen ist, daß das Auge sich nicht immer den Gegenständen angepaßt hat, was besonders daraus hervorgeht, daß die Gewöhnung einen großen Einfluß auf diese Fehler ausübt; Kurzsichtigkeit entsteht oft dadurch, daß das Sehen in der Ferne vernachlässigt wird und Kinder, welche beim Lesen und Schreiben das Gesicht zu

dicht auf das Papier halten, werden in Folge dessen kurzsichtig.

Das einfachste Mittel, die Fernsichtigkeit und Kurzsichtigkeit zu verbessern, besteht außer Brillengläsern (für kurzsichtige Augen Hohlgläser, für fernsichtige erhabene) darin, daß man eine feine etwa in ein Kartenblatt gemachte Öffnung dicht vor das Auge hält. Hierdurch wird die Schärfe des Auges, wenn auch auf Kosten der Helligkeit, hergestellt.

In der Jugend ist die Hornhaut stärker gekrümmt, als im spätern Alter und daher hat der Kurzsichtige, welcher sich keiner Brille bedient, die Hoffnung, den Fehler seiner Augen mit vorrückendem Alter zu verbessern. 4) Das Bild muß, wenn es seinen entsprechenden Eindruck auf das Auge nicht verfehlen soll, deutlich sein; es darf nicht wesentlich an einer sphärischen Abweichung leiden. 5) Das Bild auf der Netzhaut muß hinreichend hell sein; es darf weder eine zu große noch eine zu geringe Helligkeit besitzen, wenn ein deutliches Sehen stattfinden soll.

Das Sehen mit zwei Augen. Sobald wir beide Augen auf einen Gegenstand richten, sehen wir denselben einfach, wenn das Auge für die Entfernung eingerichtet ist; wir sehen ihn aber jeder Zeit doppelt, sobald sich das Auge einer größeren oder kleineren Entfernung anpaßt; wir sehen den Gegenstand scharf und deutlich, wenn wir ihn einfach sehen, undeutlich und verwaschen, sobald er doppelt erscheint.

Durch ein zu starkes Licht wird das Auge gereizt, die Pupille zieht sich zusammen und läßt nun eine kleinere Menge Lichtstrahlen auf die Netzhaut fallen; dagegen ist die Pupille im Dunkel, so läßt sie mehr Licht in's Innere des Auges treten. Indeß ist die hierdurch bewirkte Vermehrung nur eine Beschränkung, und wir vermögen, weder bei zu starkem noch bei zu schwachem Lichte Gegenstände deutlich zu erkennen.

Farbige Nachbilder. Wir empfinden oftmals Farbeneindrücke, die nicht unmittelbar durch äußere Gegenstände hervorgebracht sind, sondern in einem eigenthümlich gereizten Zustande der Netzhaut ihren Grund haben. Man nennt solche Farben subjective oder physiologische. Die farbigen Nachbilder sowohl, als auch die Farben, welche durch Contraste hervorgebracht werden, gehören hierher. Wir empfinden solche Nachbilder z. B., wenn wir längere Zeit in ein hellbrennendes Feuer gesehen haben und dann, die Augen geschlossen, nach einer dunklen Stelle des Zimmers uns hinwenden. Ist das Auge durch eine bestimmte Strahlengattung, z. B. durch rothes Licht gereizt worden, so wird hierdurch seine Empfindlichkeit, besonders für diese Strahlengattung, geschwächt; legt man z. B. einen Streifen Seide oder Papier von einer recht reinen und lebhaften Farbe, z. B. einen rothen Streifen auf ein weißes Blatt Papier, betrachtet denselben einige Zeit aufmerksam und nimmt ihn dann weg, ohne die Richtung der Augen zu ändern, so erscheint die zuvor von dem rothen Streifen bedeckte Stelle grün. Die Netzhaut verliert nämlich durch den längere Zeit anhaltenden Reiz des rothen Lichtes an Empfindlichkeit für dasselbe, so daß in Folge dessen der Eindruck der übrigen farbigen von der weißen Fläche ausgehenden Strahlen um so lebhafter hervortritt, und mithin die Complementärfarben erscheinen. Wird nun statt eines rothen ein grüner Streifen Seide oder Papier genommen, so entsteht ein rothes Nachbild; ebenso werden auch die anderen complementären Farben: orange, blau, gelb und violett sich gegenseitig hervorrufen.

Contrastfarben sind solche, welche, einander entgegengesetzt, sich gegenseitig heben oder lebhafter hervortreten lassen. Ein grauer Fleck erscheint z. B. auf einer weißen Fläche dunkler, auf einer schwarzen heller, als wenn die ganze Fläche mit dem-

selben grauen Ton überzogen wäre. Durch einen Versuch kann man dieses recht deutlich machen, indem man einen schmalen undurchsichtigen Körper, etwa einen Bleistift, zwischen eine Kerzenflamme und eine weiße Fläche bringt; man wird dann einen dunklen Schatten auf hellem Grunde sehen; bringt man nun eine zweite Kerzenflamme neben die erstere, so sieht man zwei dunkle Flammen auf hellem Grunde; jeder dieser Schatten ist aber jetzt durch eine Kerze ebenso stark erleuchtet, als es vorher die ganze Fläche war, und dennoch hält man vorher die Fläche für hell und jetzt den Schatten für dunkel.

Noch auffallender sind die Contrasterscheinungen bei Betrachtung farbiger Gegenstände, wobei man oft complementäre Farben sieht, welche objectiv gar nicht vorhanden sind. — Legt man einen schmalen grauen Papierschnitzel auf ein lichtgrünes Papier, so erscheint der Streifen röthlich; legt man ihn auf ein blaues Papier, so erscheint er gelb, kurz er erscheint immer complementär zur Farbe des Grundes.

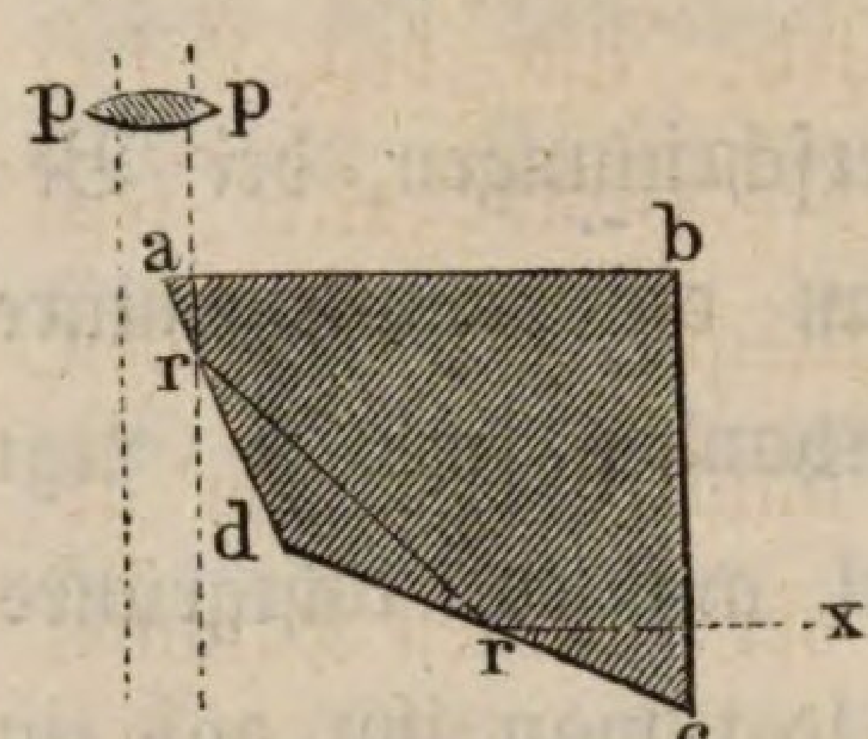
Die Beurtheilung der Entfernung und Größe gesehener Gegenstände. Die Lichtstrahlen, welche so ins Auge fallen, daß sie in Folge der Brechung, welche sie durch die verschiedenen Feuchtigkeiten des Auges erhalten, sich zu einem Bilde auf der Netzhaut vereinigen, rufen durch den auf der Netzhaut und dem Sehnerven ausgeübten Reiz in uns die Vorstellung von außer uns befindlichen Gegenständen hervor. Diese Vorstellungen sind ohne Zweifel eine Folge der schon in der frühesten Kindheit durch den Tastsinn gesammelten Erfahrungen, daß einem bestimmten Lichteindruck im Auge auch das Vorhandensein eines bestimmten körperlichen Gegenstandes außer uns entspricht.

Die Gestalt der Gegenstände ist uns durch die Gestalt des Bildes auf der Netzhaut gegeben. Die Größe, welche wir den-

selben beilegen, die Entfernung, in welche wir sie versetzen, ist weniger ein unmittelbar Gegebenes, als vielmehr ein Product unseres Urtheils und ebendeshalb auch mehr dem Irrthum unterworfen.

Camera lucida (helle Kammer, nach Wollaston.) Dieser Apparat hat den Zweck, die Umrisse irgend eines Gegenstandes, etwa eines Hauses oder einer Landschaft, nachzuzeichnen. Er besteht im Wesentlichsten aus einem vierseitigen Prisma a b c d, (*Fig. 99.*) welches bei b einen rechten, und bei d einen stumpfen Winkel von 135° hat; die Fläche c d ist gegen das Object gekehrt, dessen Zeichnung man entwerfen will. Ein vom Gegenstand kommender Lichtstrahl dringt zuerst an der Fläche c b rechtwinklig in das Prisma ein, erleidet an der Fläche c d eine erste und an der Fläche a d eine zweite totale Zurückwerfung, und tritt endlich nahe bei a rechtwinklig zur Fläche a b wieder aus. Hält man nun das Auge etwas über diese Fläche, so daß sich die Pupille etwa in p p befindet, so wird man durch die eine Hälfte der Pupille das reflectirte Bild des Gegenstandes x sehen, während man durch die andere Hälfte der Pupille direct bei a vorbei nach einem horizontalen weißen Blatt Papier sieht, auf welchem dieses Bild zum Vorschein kommt. Hält man nun mit der Hand den Bleistift aufs Papier, so sieht man zugleich die Spitze des Bleistiftes und das Bild; man kann also leicht die Umrisse des letzteren mit dem Bleistift nachfahren. Um das Auge nicht zu ermüden, nimmt man gewöhnlich gefärbte Gläser, um zu bewirken, daß beide Bilder ungefähr gleiche Aehnlichkeit haben, und Linsen, um zu erreichen, daß die Strahlen von beiden mit gleicher Divergenz auf das Auge fallen, damit sich beide dem Auge anpassen.

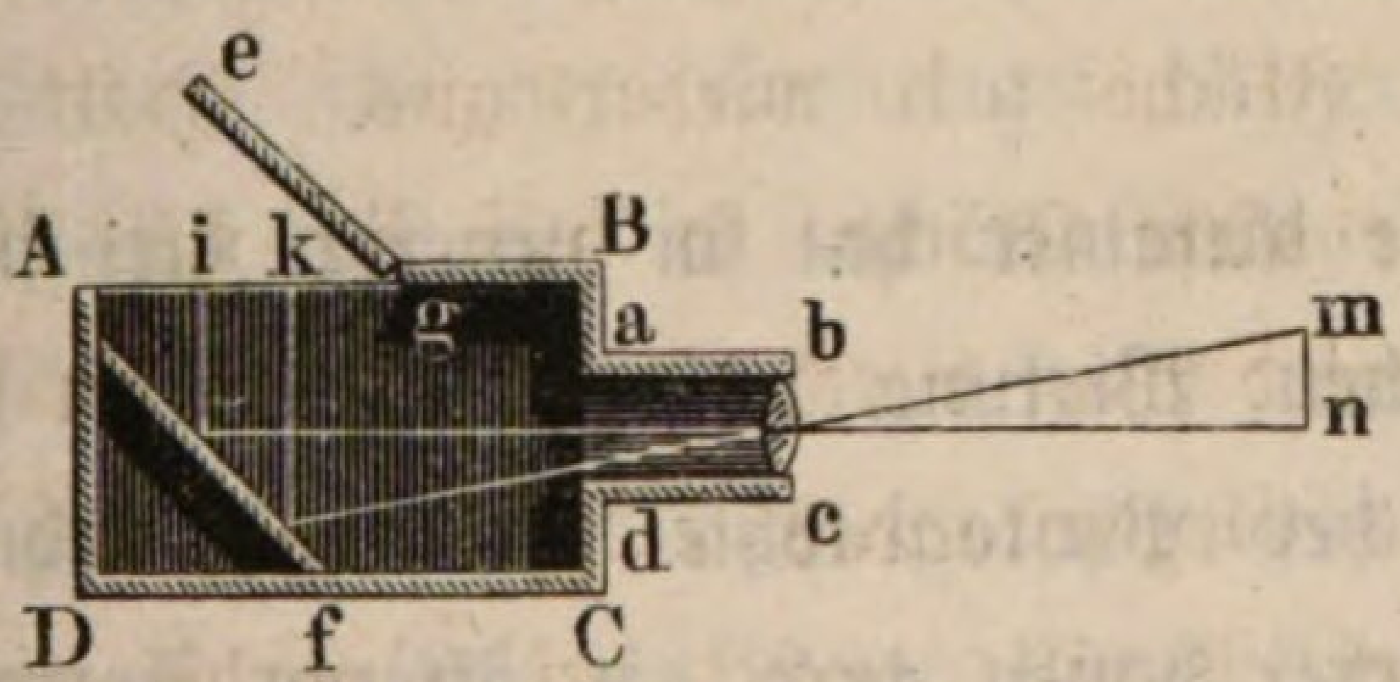
Fig. 99.



Eine solche helle Kammer kann man sich sehr einfach aus einem kleinen Metallspiegel herstellen, der in der Mitte ein Loch von drei bis vier Millimetern Durchmesser hat. Man sieht dann die Gegenstände direct sich durch das Loch, das Bild des Bleistifts und des Papiers im Spiegel.

Camera obscura (dunkle Kammer). Dieses Instrument, welches im 17ten Jahrhundert von dem Neapolitaner Porta erfunden wurde, besteht im Wesentlichen aus einer Sammellinse von etwas großer Brennweite, durch welche ein Bild entfernter Gegenstände, etwa eine Landschaft, entworfen wird; um den Effect dieses Bildes möglichst zu heben, muß von der Fläche alles seitliche, nicht hierher gehörige Licht sorgfältig ausgeschlossen werden, d. h. das Auffangen muß immer in einer dunklen Kammer geschehen. Die früher gebräuchlichen Formen der dunklen Kammer erhellen aus beifolgenden Figuren. *Fig. 100 A.* stellt einen Kasten

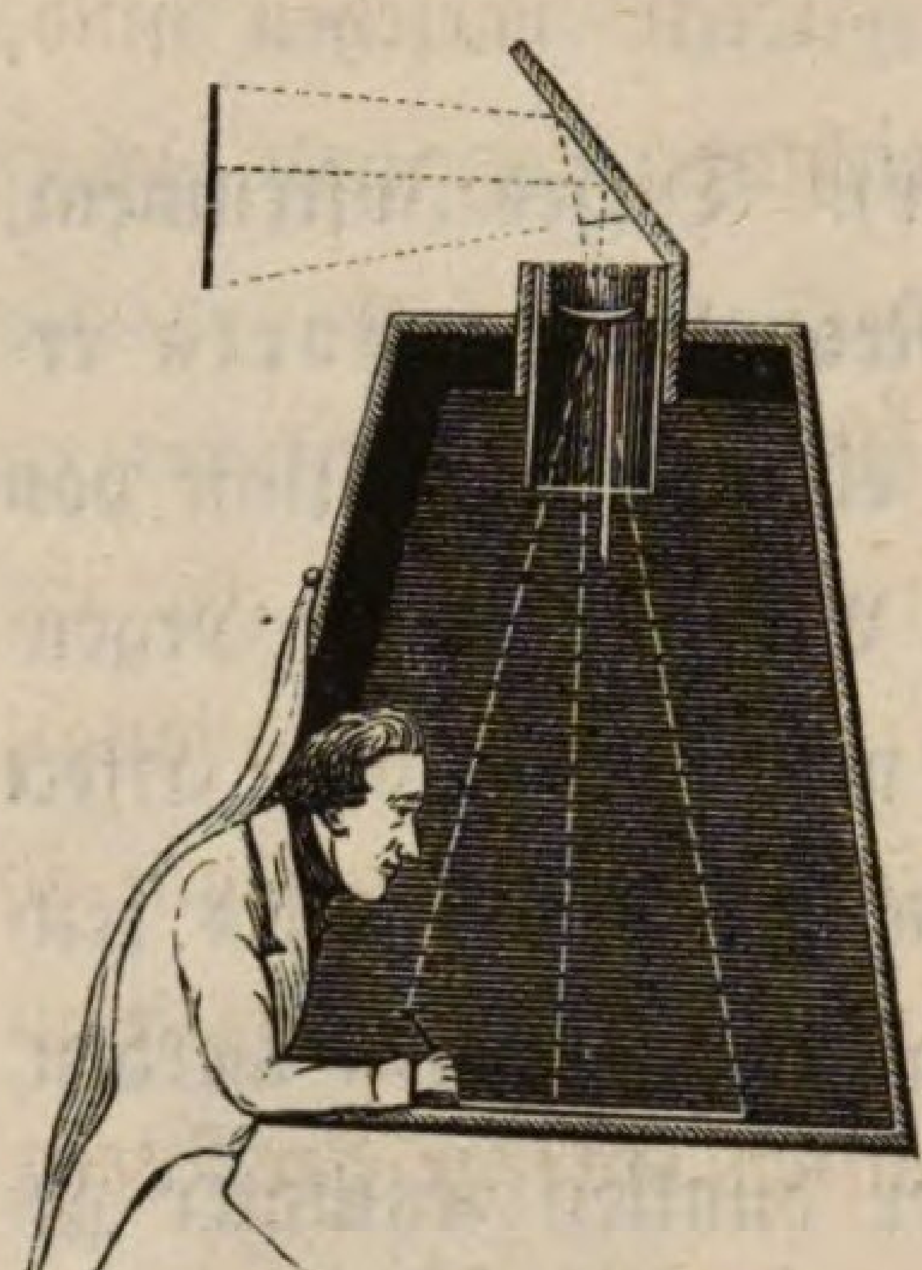
Fig. 100 A.



dar, an welchem sich ein Hals a b c d befindet, woran eine Sammellinse b c angebracht ist; die durch diese Linse in den dunklen Kasten eindringenden Strahlen werden durch einen in einem Winkel von 45° gegen die Achse der Linse geneigten ebenen Spiegel nach oben reflectirt, so daß das Bild eines entfernten Gegenstandes bei i k auf einer matt geschliffenen Glastafel aufgefangen werden kann. Der Deckel g h hat den Zweck, das fremde Licht von dem Bilde möglichst abzuhalten. Ist die matt geschliffene Seite des Glases nach oben gekehrt, so kann man

auf demselben mit Bleistift die Umrisse des in i k entstehenden Bildes nachziehen und so eine ganz der Natur entsprechende Zeichnung der Naturgegenstände erhalten. In *Fig. 100 B.* haben

Fig. 100 B.



wir einen hohen Kasten, auf dessen Boden ein Blatt weißes Papier gelegt wird; durch die Oberfläche des Kastens geht eine Röhre, welche die Sammellinse enthält, über welcher sich dann ein in einem Winkel von 45° gegen die Verticale geneigter ebener Spiegel befindet; die von dem Gegenstande kommenden Strahlen werden durch den Spiegel nach unten reflectirt, so daß das Bild auf der Fläche des Papiers entsteht. Dieses Bild ist sehr lebhaft, weil durch die Wände des Kastens alles seitliche Licht ausgeschlossen ist, weshalb die Umrisse dieses Bildes mit Bleistift sich leicht nachziehen lassen.

Die dunkle Kammer hat in neuerer Zeit in Folge der erkannten chemischen Wirkung des Lichts, wovon später die Rede sein wird, in der Photographie eine ausgedehnte Anwendung erlitten und daher haben auch die älteren Formen mannigfache Abänderungen erfahren, so daß man Kammern zum Zusammenlegen, zum Ausziehen und solche, welche einem Blasebalg ähnlich, zu unterscheiden hat. Die Kammern zum Zusammenlegen haben Seitenwände, welche aus zwei Längenstücken bestehen, die durch Charniere zusammengehalten werden und ebenso mit der Ober- und Unterwand verbunden sind, daß man sie zwischen Ober- und Unterwand klappen kann, wenn die Vorderwand herausgenommen ist. Die Ausziehekammern können sowohl für Portraits, als auch für Landschaften benutzt werden; sie bestehen aus

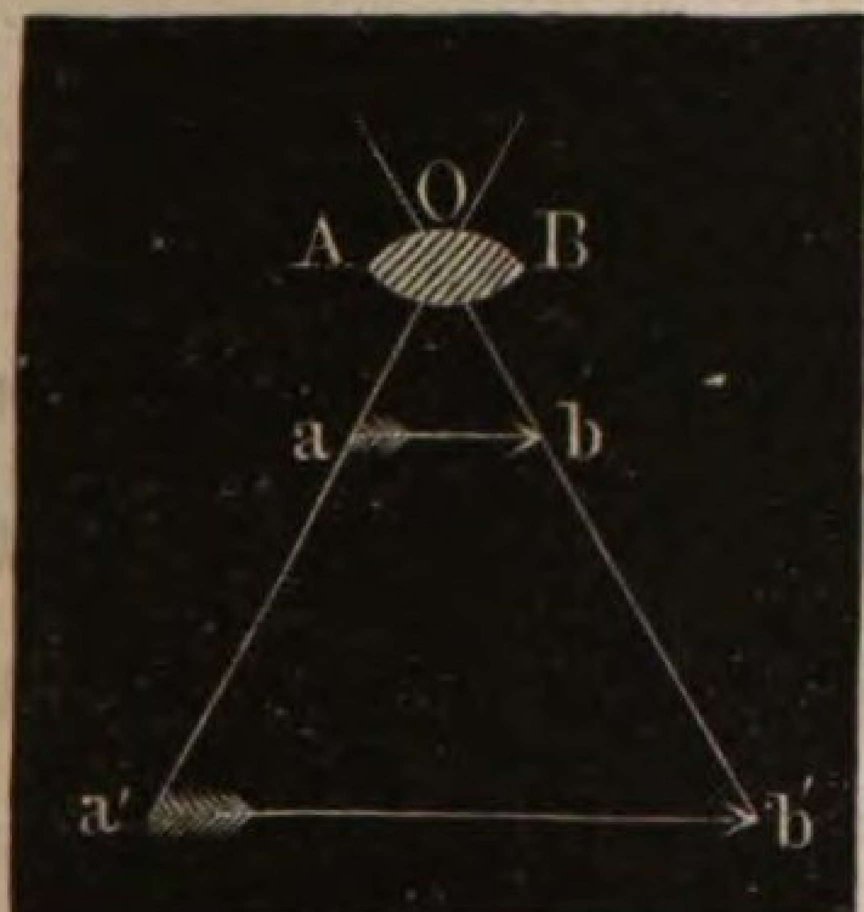
zwei Theilen, dem vorderen, die Linse tragenden Theil, welcher fest ist, und dem hinteren Theil, mit einem Einstellkästchen und der Visirscheibe zum Ausziehen. Die Blasebalgkammern sind solche, welche sich ausdehnen und bei denen die Vorder- und Hintertheile mit einer sich ausziehenden Decke versehen sind, welche den Bälgen der Ziehharmonika gleicht.

Das einfache Mikroskop.

Es ist früher erwähnt worden, daß die scheinbare Größe eines Gegenstandes von der Größe des Sehwinkels abhängt, unter welchem er erscheint. Der Sehwinkel wird aber um so größer, je mehr der Gegenstand dem Auge genähert wird; nun aber können wir ihn nur bis zu einer gewissen Grenze der Weite des deutlichen Sehens dem unbewaffneten Auge nähern, wenn noch eine scharfe Unterscheidung der einzelnen Theile möglich sein soll und dadurch ist auch einer weiteren Vergrößerung des Sehwinkels eine Grenze gesetzt. Ein jedes Instrument, welches eine weitere Vergrößerung für den Sehwinkel kleiner naher Gegenstände möglich macht, als es bei unbewaffnetem Auge der Fall ist, wird ein Mikroskop genannt.

Das einfache Mikroskop *(Fig. 101.)* enthält eine Sammellinse, A B, von kurzer Brennweite. Denken wir uns nun innerhalb der Brennweite der Linse einen Gegenstand a b, welcher sich aber in der Nähe des Brennpunktes befindet, so wird das an der andern Seite der Linse befindliche Auge O ein vergrößertes Bild des Gegenstandes wahrnehmen. Da aber dieses Bild um so mehr oder weniger von der Linse entfernt ist, je ferner oder näher der Gegenstand selbst dem

Fig. 101.



Brennpunkte der Linse ist; so läßt sich durch allmälige Annäherung oder Entfernung des Gegenstandes von der Linse leicht bewirken, daß das Bild der deutlichen Sehweite, also für das in O befindliche Auge vollkommen deutlich erscheint.

Der Durchmesser des Bildes und des Gegenstandes verhalten sich, wie ihre Entfernungen von dem optischen Mittelpunkt der Linse sich verhalten; der Abstand des Bildes von der Linse ist ferner der deutlichen Sehweite gleich und der Gegenstand bei einer Linse von kurzer Brennweite befindet sich sehr nahe am Brennpunkte derselben, mithin muß sich auch das Bild zum Gegenstande wie die deutliche Sehweite zur Brennweite der Linse verhalten. Die lineare Vergrößerung ist daher bei einem einfachen Mikroskop dem Quotienten aus der deutlichen Sehweite durch die Brennweite der Linse, und die Vergrößerung nach dem Verhältniß der Fläche ist dem Quadrat dieser Zahl gleich; eine mikroskopische Linse wird folglich um so stärker vergrößert, je kürzer ihre Brennweite ist.

Um die durch die Lupe hervorgebrachte Vergrößerung zu bestimmen, muß man die Größe des Sehwinkels, unter welchem das Bild a b erscheint, wenn es sich in der Entfernung des deutlichen Sehens befindet, mit der Größe des Sehwinkels vergleichen, unter welchem der Gegenstand selbst erscheinen würde, wenn er eben so weit vom Auge entfernt wäre.

Das zusammengesetzte Mikroskop.

Die Einrichtung aller zusammengesetzten Mikroskope, wenn sie auch in mancher Beziehung noch so sehr abweichend ist, beruht auf folgenden Grundsätzen: Die Gegenstände, welche man der Untersuchung unterwerfen will, befinden sich nahe bei einer Sammellinse b *(Fig. 102.)* von kurzer Brennweite und zwar etwas jenseits des Brennpunktes, und diese Linse wird das Objectiv

oder die Objectivlinse des Mikroskops genannt. Die wirklichen und vergrößerten Bilder werden durch eine Sammellinse c betrachtet, welche hier als Lupe dient; die zweite Linse, welche einfach oder zusammengesetzt, achromatisch oder nicht achromatisch sein kann, wird das Ocularglas oder das Ocular des Mikroskops genannt. Ein Object o p *(Fig. 103.)*, welches sich vor

Fig. 102.

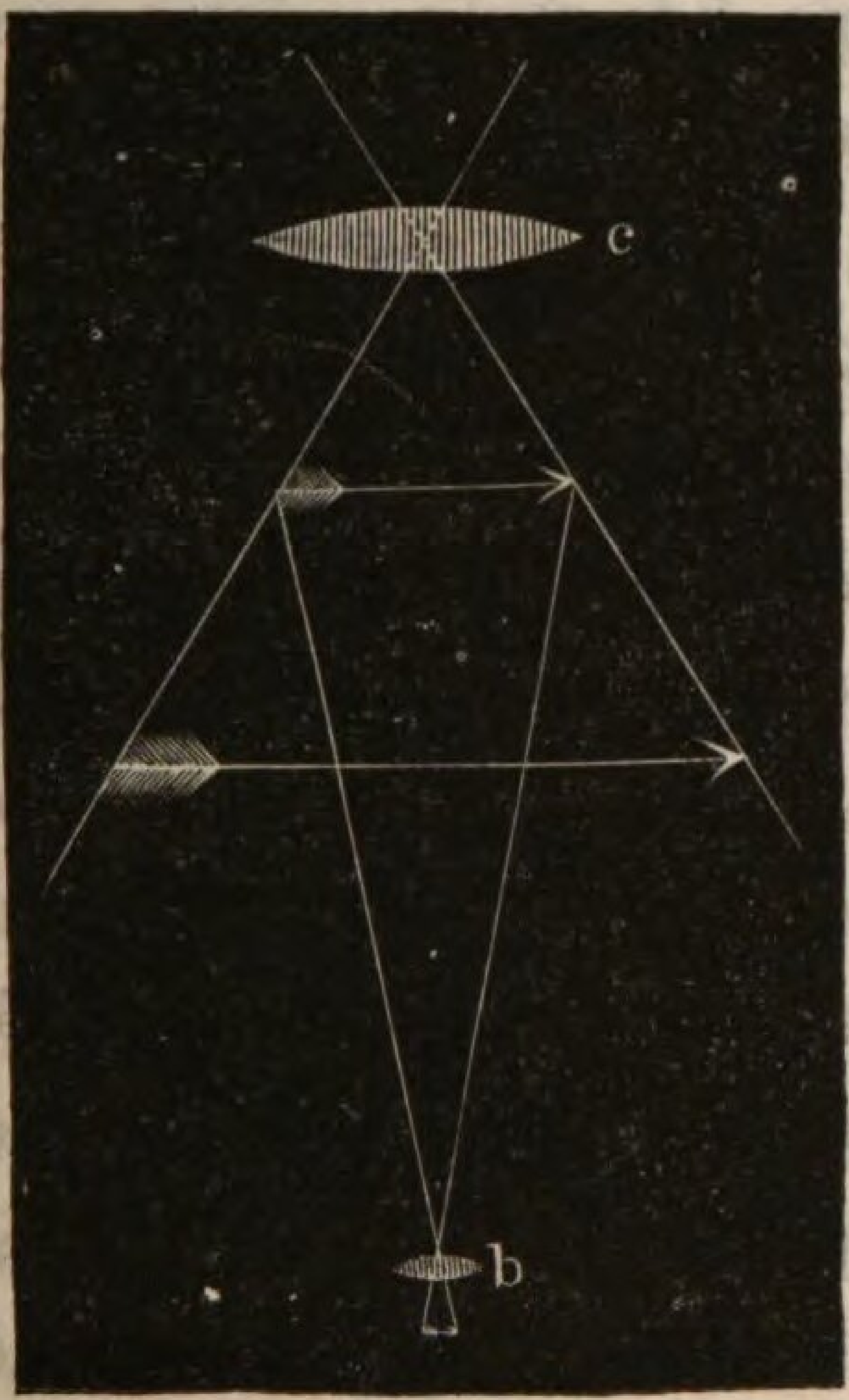
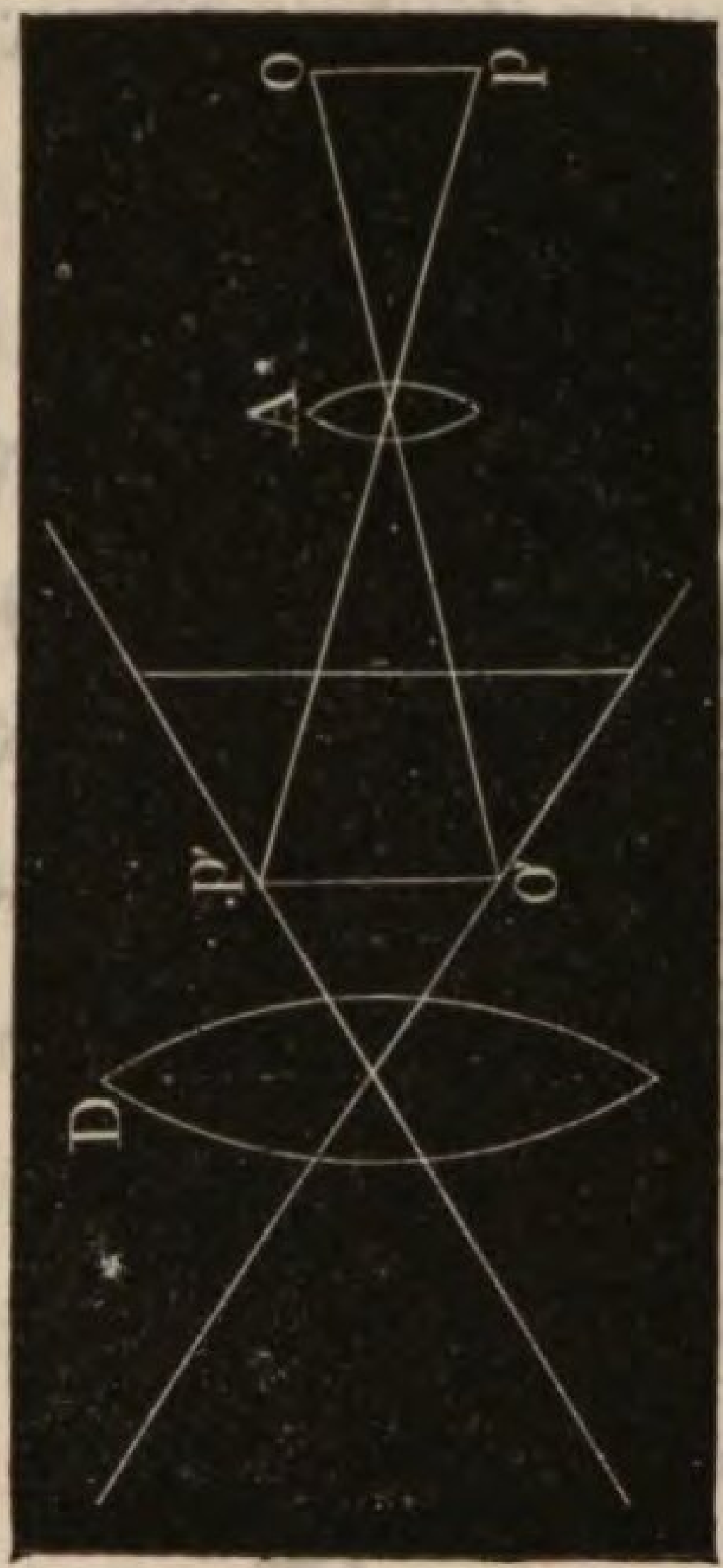


Fig. 103.



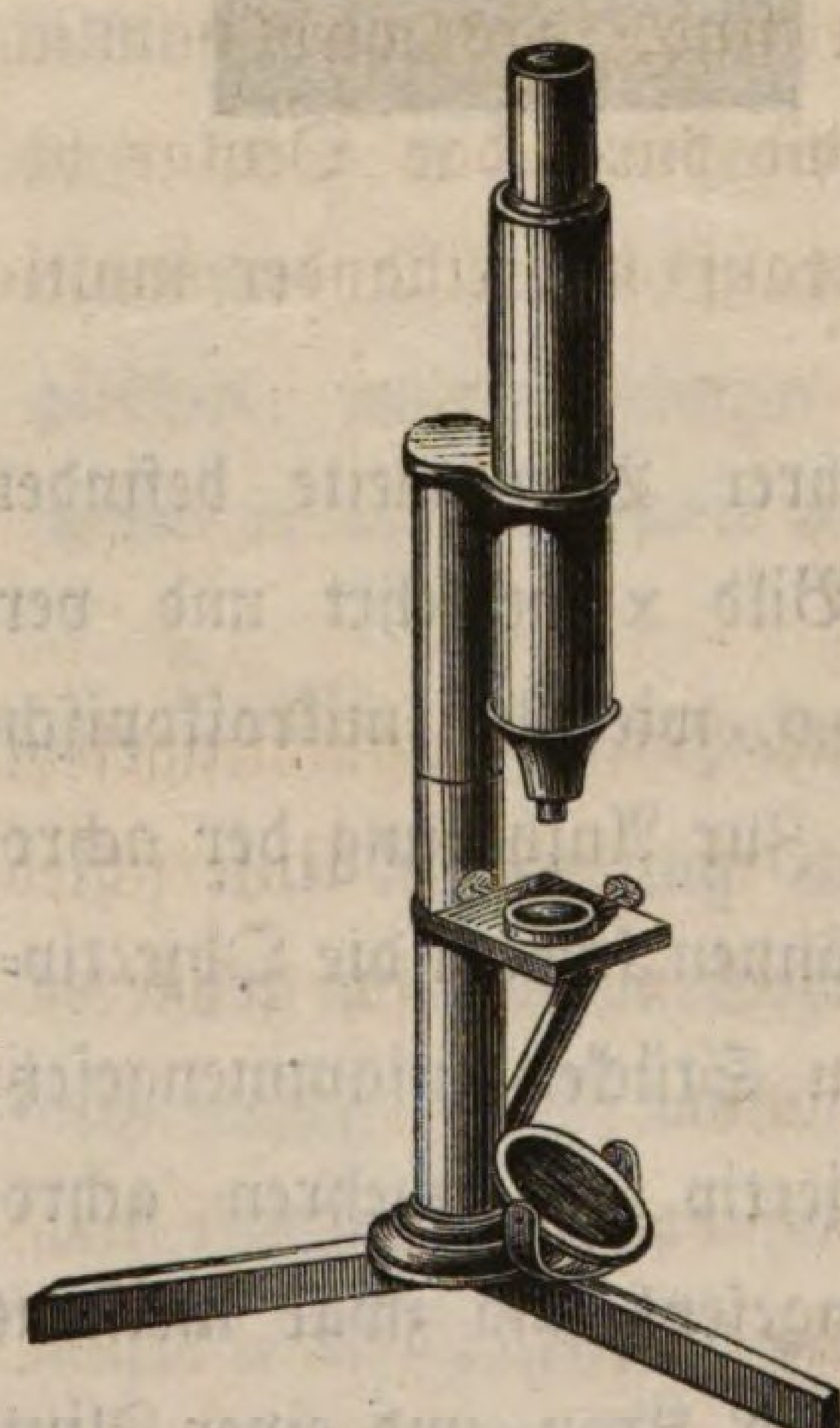
der Objectivlinse etwas außerhalb ihrer Brennweite befindet, erzeugt hinter der Objectivlinse ein Bild x verkehrt und vergrößert; die Linse D verhält sich zu p o, wie eine mikroskopische Linse und zeigt das Bild vergrößert. Zur Aufhebung der achromatischen und sphärischen Abweichung können sowohl die Objectiv-, als auch die Ocularlinsen aus mehren Stücken zusammengesetzt sein. Gewöhnlich ist aber das Objectiv aus mehren achromatisch verbundenen Stücken zusammengesetzt und zwar meistens aus 3 Doppellinsen, deren jede aus einer Kron- und einer Flint-

glaslinse besteht; als Ocular dient eine einfache Sammellinse. Zwischen der Objectiv- und der Ocularlinse befindet sich noch ein dritter Bestandtheil, die Collectivlinse. Diese Linse fängt die aus dem Objectiv A tretenden Strahlen auf, ehe sich dieselben zu einem Bilde vereinigt haben, und es bildet sich ein kleineres Bild p r, das durch das Ocular betrachtet wird.

Ein Hauptgrund der Anwendung der Sammellinse ist die Vereinigung der Färbung am Rande des Gesichtsfeldes, die trotz der achromatischen Objectivlinse sich ergeben würde, wenn man das von dem Objectiv erzeugte Bild nur durch eine einfache Linse betrachten würde.

Die Sammellinse rechnet man gewöhnlich zu dem Ocular, und nennt sie die Verbindung desselben mit der eigentlichen Ocularlinse. Bestandtheile des Mikroskops werden zur Abhaltung fremden Lichts in eine inwendig geschwärzte und mit Blenden versehene Röhre gefaßt, die sich an einem Stativ befindet, welches zur Befestigung, genauer Einstellung und Beleuchtung der Gegenstände dient. Bei den besseren Mikroskopen hat man für dasselbe Objectiv mehrere Oculare und für dasselbe Ocular mehrere Objective, durch welche sich stufenweise Vergrößerungen hervorbringen lassen. *Fig. 104* zeigt ein solches zusammengesetztes Mikroskop.

Fig. 104.



Die Eigenschaften eines guten Mikroskops bestehen in der Reinheit und Größe des Gesichtsfeldes, in der Deutlichkeit und Klarheit des Bildes und in der Stärke der Vergrößerung. Das Gesichtsfeld muß nicht nur in

der Mitte, sondern auch am Rande sein und zwar farblos mit der entsprechenden Größe.

Die Größe wird am Besten mit Hülfe eines Mikrometers, d. h. eines auf einem Planglase vermittelst Diamanten eingeätzten aus rechtwinklig sich durchkreuzenden Linien gebildeten kleinen Gitters, an welchem die Längen dieser Linien und ihre Unterabtheilungen und demnach auch die Flächen der dadurch entstandenen kleinen Quadrate kennbar sind. Dieses Mikrometer wird nicht allein zum Messen des Gesichtsfeldes, sondern auch zum Messen der Linear- und Flächen-Ausdehnung unter dem Mikroskope befindlicher Gegenstände, indem man letztere auf das Gitter legt und nach der Länge der Linien oder nach der Anzahl der Quadrate die Länge- und Flächenausdehnung der Objecte berechnet, benutzt.

Die Klarheit und Deutlichkeit der Bilder wird am Zweckmäßigsten mittelst Probeobjecten bestimmt.

Die Stärke der Vergrößerung wird durch Rechnung gefunden, wenn die Brennweite beider Linsen und ihre Entfernung von einander und vom Objecte bekannt sind. Es wird nämlich zuerst die durch das Objectiv, dann die durch das Ocular bewirkte Vergrößerung bestimmt und hierauf mit einander multiplicirt.

Das Fernrohr.

Je nachdem die Fernröhre nur aus Linsen zusammengesetzt sind, oder einen Spiegel enthalten, hat man einen Unterschied gemacht; solche mit einem Spiegel werden nur in größerem Maßstabe ausgeführt und Teleskope genannt.

Das astronomische oder Keppler'sche Fernrohr ist nach dem zusammengesetzten Mikroskope eingerichtet. Es besteht nämlich, sowie jenes, aus zwei convexen Linsen einer

Objectivlinse und Ocularlinse. Beide unterscheiden sich nur dadurch, daß das Objectiv nicht wie bei dem Mikroskop von einem sehr kleinen und nahen, sondern von einem entfernten und großen Gegenstande ein umgekehrtes Bild erzeugt, welches dann ebenso wie beim Mikroskop durch die Ocularlinse für das Auge in die Sehweite hinausgerückt wird, so daß das Auge statt des kleinen Bildes das vergrößerte erblickt. Da in diesem Fernrohre die Gegenstände verkehrt erscheinen, so wird es nur für astronomische Beobachtungen gebraucht.

Interferenz und Beugung des Lichts.

Läßt man in ein verfinstertes Zimmer die Sonnenstrahlen durch eine sehr kleine Oeffnung hereintreten und fängt dieselben auf einer weißen Fläche auf, so erscheint ein rundes Sonnenbild. Der Durchmesser dieses Bildes ist aber größer, als er zufolge der geradlinigen Fortpflanzung des Lichts sein sollte, und das im Uebrigen weiße Sonnenbild ist am Rande von schwachen farbigen Ringen eingefaßt.

Grimaldi schloß hieraus, daß das Licht bei seinem Vorübergange an den Kanten undurchsichtiger Körper eine Ablenkung von der geraden Linie erleide; er nannte diese Ablenkung Diffraction, welche später auch Beugung genannt wurde. Seine Beobachtungen dehnten sich ferner dahin aus, daß er wahrnahm, daß wenn man die Sonnenstrahlen durch zwei sehr feine Oeffnungen nahe neben einander in das dunkle Zimmer eintreten läßt, auf einem weißen Schirme zwei Sonnenbilder entstehen. Grimaldi schloß aus diesen Beobachtungen, daß Licht zu Licht hinzugeführt, sich nicht in allen Fällen verstärkt, sondern unter gewissen Umständen auch schwächen kann.

Unter Interferenz des Lichts versteht man überhaupt die Schwächung oder Verstärkung des Lichts, welche aus dem gegen-

seitigen Einfluß zweier oder mehrer Lichtstrahlen hervorgeht. Nehmen wir die erwähnte Undulations-Theorie zu Hülfe, so lassen sich die Bedingungen und Umstände dahin aussprechen, daß zwei in der nämlichen Richtung fortschreitende Wellen überhaupt beim Zusammentreffen sich dann verstärken, wenn die zusammentreffenden Theile sich in gleichen Schwingungszuständen befinden; sie müssen sich dagegen schwächen oder aufheben, wenn diese Theile sich in entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden.

Die Beugung des Lichts, deren erste Beobachtung erwähnt worden ist, läßt sich noch zweckmäßiger wahrnehmen, wenn man den in ein verfinstertes Zimmer eintretenden Lichtstrahl auf eine Metallplatte fallen läßt, in welcher sich ein Spalt befindet, und wenn man die durch den Spalt hindurchgegangenen Strahlen auf einem weißen Schirm auffängt; man erblickt dann auf dem Schirme einen dem Spalt parallelen hellen Streifen und neben demselben mehre regenbogenfarbige Streifen; läßt man aber den einfallenden Strahl, ehe er das Metallplättchen trifft, durch ein tief roth gefärbtes Glas hindurchgehen, so wird man nur abwechselnd hellere und dunklere Streifen wahrnehmen; die Streifen werden dann um so schwächer erscheinen, je weiter sie sich von der Mitte entfernen.

Solche Erscheinungen, die auf der Beugung des Lichts beruhen, nimmt man auch an manchen Körpern wahr, z. B. bei der Perlmutter, bei manchen Seidenzeugen, an den Flügeln mancher Insecten u. s. w. Auch die Höfe, welche sich, wenn die Atmosphäre mit Dünsten angefüllt ist, um Sonne und Mond bilden, werden durch die Beugungserscheinungen erklärt, indem die Strahlen des Mondes oder der Sonne an den in der Atmosphäre schwebenden Dunstkügelchen eine Beugung erleiden. Aehnliches gilt auch von der Erklärung der sogenannten Nebensonnen

und Nebenmonde, welche man bei großer Kälte zuweilen bei dem Aufgange oder Untergange dieser Gestirne zu beiden Seiten in gleicher Höhe oder auch senkrecht über denselben auf dem Umfange eines weißen hellen Kreises bemerkt. Man betrachtet diese Erscheinung ebenfalls als eine Wirkung der in der Atmosphäre schwebenden Eisnadeln und sucht dieselben theils aus der Zurückwerfung, welche die Lichtstrahlen an der Oberfläche der Eisnadeln erleiden, theils durch die Beugung zu erklären.

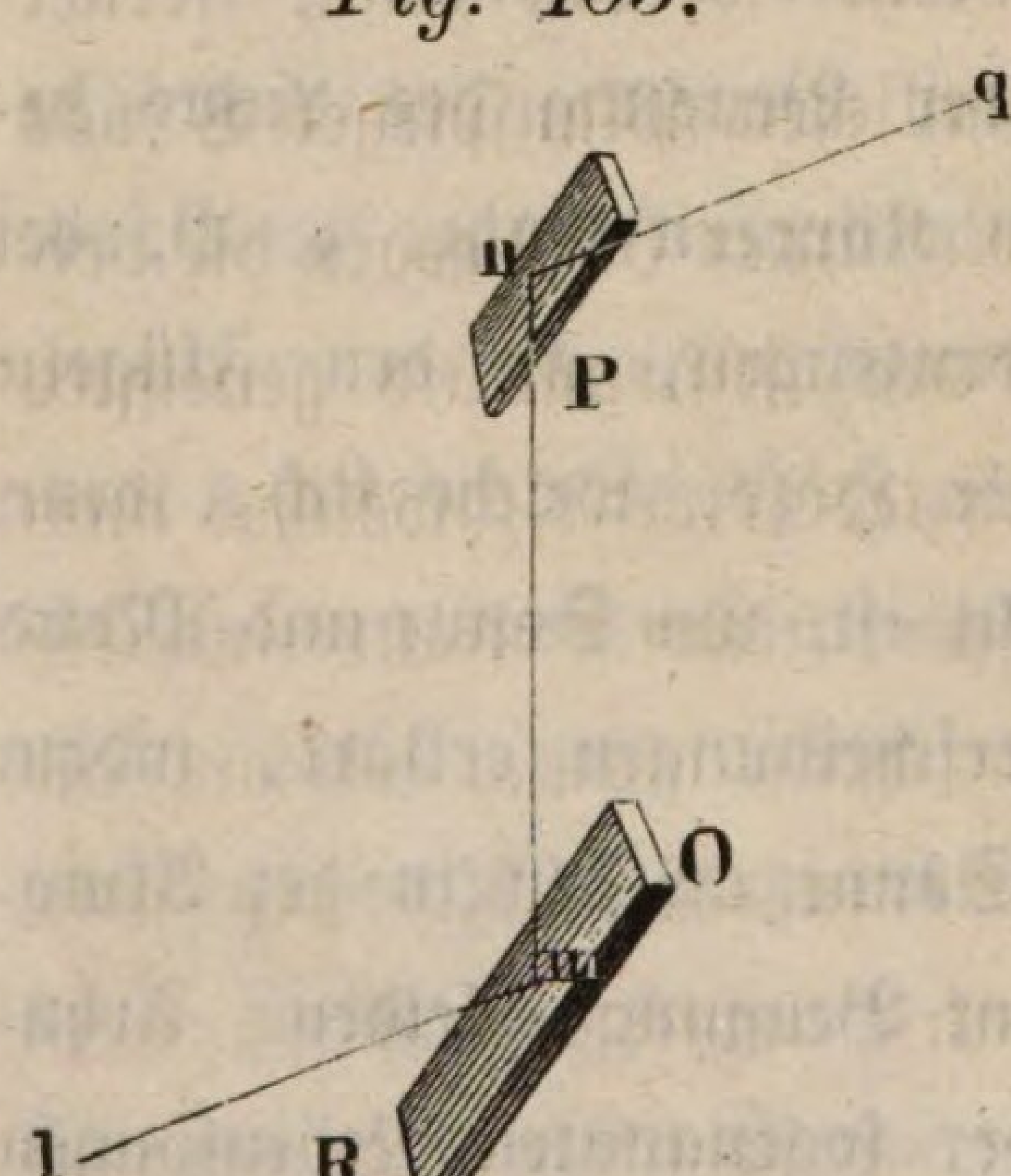
Zu den auf der Interferenz der Lichtwellen beruhenden Erscheinungen gehören auch die Farben, welche man wahrnimmt, wenn ein durchsichtiger Körper in einer sehr dünnen Lage oder Schicht vorhanden ist.

Solche Erscheinungen nimmt man z. B. wahr, wenn man einen Tropfen Terpentinöl auf Wasser fallen läßt, oder auch bieten die bekannten Seifenblasen ein derartiges Farbenspiel dar.

Polarisation des Lichtes.

Gewisse Lichtstrahlen können die Eigenthümlichkeit erlangen, nach bestimmten Richtungen hin ein verschiedenes Verhalten zu zeigen; solche Lichtstrahlen nennt man polarisirte.

Fig. 105.



Um den Unterschied zwischen gewöhnlichem und polarisirtem Licht zu zeigen, läßt man einen gewöhnlichen Lichtstrahl l m *(Fig. 105.)* unter einem Winkel von ungefähr 35⁰ auf eine eben geschliffene Glasplatte K O *Fig.* x fallen; man wird dann wahrnehmen, daß dieser Lichtstrahl in der Richtung l m n zurückgeworfen wird. Fällt nun

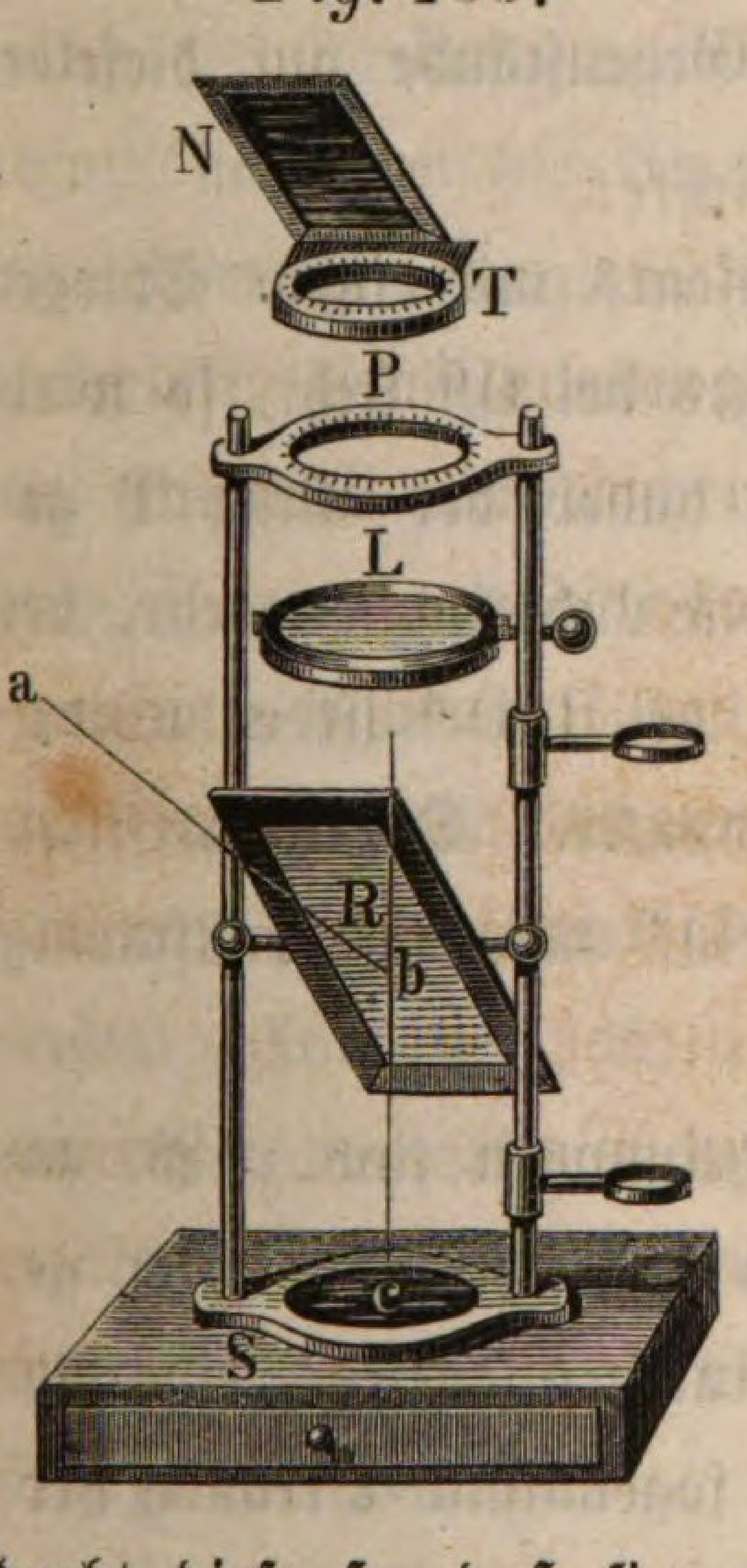
dieser zurückgeworfene Strahl auf eine zweite Glasplatte P, so nimmt derselbe die Richtung n q.

Drehet man nun die zweite Glasplatte um eine Achse, die mit dem Strahle m n zusammenfällt, so sind die beiden Spiegel nicht mehr parallel, während der Winkel, den der Strahl m n macht, derselbe bleibt.

Bei einem Winkel von 90° wird der Strahl nicht mehr zurückgeworfen; dreht man nun noch weiter, so kommt die Zurückwerfung wieder zum Vorschein, bis sie bei 180° wieder so groß ist, wie bei 0°, wo die Reflexionsebene mit der untern Platte parallel ist. Bei 270° wird aber kein Licht mehr zurückgeworfen.

Sind die Reflexionsebenen beider Platten miteinander parallel, so wird der Strahl m n von der zweiten Platte zurückgeworfen; kreuzen die Ebenen sich aber, so wird er durchgelassen.

Fig. 106.



Am besten kann man die Polarisationserscheinung mit Hülfe des Nörrenberg'schen Apparats beobachten, wovon *Fig. 106.* eine Abbildung liefert.

Derselbe enthält eine polarisirende Glasplatte R, welche um eine horizontale Achse zwischen zwei verticalen Stäben gedreht werden kann, ferner einen gewöhnlichen Planspiegel S von Glas und ein unter 35° gegen die verticale Achse des Instruments geneigtes und geschwärztes Glas N, welches man den Analyseur nennt. Fällt nun ein Lichtstrahl in der Richtung a b auf die polarisirende Glasplatte R, und man dreht diese so, daß sie mit der verticalen Achse des Instruments einen Winkel von ungefähr 34° bildet, so geht der polarisirende

Strahl in der Richtung b c nach S und von da auf demselben Wege theilweise zurück, in der Richtung nach dem Analyseur. Eine durch die Ebene a b und b c gelegte verticale Ebene heißt die Polarisationsebene des Strahls. Am obern Theile des Apparats befindet sich ein in Grade getheilter Kreis P, dessen Nullpunkt so liegt, daß, wenn man sich durch die Theilstriche 0 und 180° eine Verticalebene gezogen denkt, diese Ebene mit der Reflexionsebene des untern Spiegels, also der Polarisationsebene, zusammenfällt. Der auf diesem mit einer Theilung versehenen Ringe befindliche drehbare Ring T, welcher den Analyseur trägt, ist am Rande etwas zugeschärft und in der Mitte der andern Hälfte des Ringes befindet sich auf der Zuschärfung eine Linie, die als Index dient. Der in der Mitte des Apparats über der polarisirenden Glasplatte R befindliche Ring L enthält einen drehbaren Ring, dessen Oeffnung mit einer Glasplatte bedeckt wird, um durchsichtige Gegenstände auf dieselbe legen zu können.

Ist nun der Spiegel N des Analyseurs mit einem Spiegel R parallel, so daß der Index des Ringes bei 0° steht, so wird das polarisirte Licht reflectirt. Wird daher der Ring T gedreht, so verschwindet das zurückgeworfene Licht immer mehr, bei 90° erscheint das Gesichtsfeld dunkel, bei 180° ist es wieder hell und bei 270° ist es abermals dunkel. Die polarisirten Strahlen werden also bei 0° und 180° möglichst vollständig reflectirt.

Sehr interessante Polarisationserscheinungen sind z. B. am Bergkrystall beobachtet worden, nämlich daß derselbe, unter gewissen Umständen einem polarisirten Strahle ausgesetzt, eine Ablenkung der Polarisationsebene oder die sogenannte Drehung derselben bewirkt, wobei man lebhafte Farbenerscheinungen wahrnimmt. Die Erscheinungen kann man mit Hülfe des so eben

beschriebenen Apparats beobachten, wenn man eine senkrecht gegen die Achse geschnittene Bergkrystallplatte auf den Ring D oder das sogenannte Tischchen des Apparats bringt und den Analyseur dreht; man wird alsdann wahrnehmen, wie man auch den Analyseur dreht, daß die Krystallplatte in keiner Stellung desselben ganz farblos erscheint, sondern sich an derselben den prismatischen Farben ähnlich in bestimmter Ordnung auf einander folgende Bilder zeigen. Jedoch verlangen die verschiedenen Bergkrystallplatten eine verschiedene Drehung des Analyseurs, um die bekannten prismatischen Farben erscheinen zu lassen, nämlich bei einigen muß derselbe sich nach der rechten Seite hin drehen und bei anderen muß er nach der entgegengesetzten Seite gedreht werden, damit die Farben in derselben Ordnung folgen. Hieraus geht hervor, daß man rechts und links drehende Krystallplatten zu unterscheiden hat. Je stärker die Platten sind, desto mehr wächst die Drehung der Polarisationsebene. Außer beim Bergkrystall hat man die Eigenschaft auch bei Lösungen von Körpern organischen Ursprungs wahrgenommen, so drehen z. B. Citronenöl, Zuckersaft, Lösungen von Weinsäure, von Stärkegummi (Dextrin), von Kampher in Weingeist, die Polarisationsebene nach rechts; dagegen drehen die Lösungen von Gummi und Fruchtzucker, ferner Kirschlorbeerwasser, Terpentinöl und Eiweiß die Polarisationsebene nach links. Die Drehung der Polarisationsebene durch gleichartige Flüssigkeiten ist folgenden beiden Gesetzen unterworfen. Einmal ist sie von der Dicke der Flüssigkeitsschicht abhängend oder dieser proportional; zweitens steht die Drehung der Polarisationsebene für verschiedene Farbenstrahlen im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der jedem Farbestrahl zugehörigen Wellenlänge.

Die Drehung der Polarisationsebene ist für die Chemie von großer Wichtigkeit und man hat sogar dieselbe in technischer

Hinsicht benutzt, um den Gehalt an krystallisirbarem Zucker zu prüfen. Die Zuckerlösung übt nämlich auf die Farbenerscheinung, welche bei einer Bergkrystallplatte des Polarisationsapparats stattfindet, einen gewissen Einfluß aus, der um so größer ist, je mehr Zucker sich in der Lösung befindet. Je stärker die Lösung, desto stärker ist natürlich das Drehungsvermögen.

Doppelte Brechung des Lichts.

Eine doppelte Brechung des Lichts ist diejenige Erscheinung, bei welcher ein durch einen durchsichtigen Körper gehender Lichtstrahl in zwei Strahlen getheilt wird. Von den beiden Strahlen, welche durch die Zertheilung des einfallenden Strahls entstehen, befolgt der eine die Gesetze der einfachen Brechung und heißt der gewöhnlich gebrochene; der zweite, welchen man den ungewöhnlich gebrochenen nennt, befolgt diese Gesetze nicht. Nach dem Austreten aus dem Krystall gehen die beiden Strahlen parallel neben einander fort.

Die doppelte Brechung wurde zuerst im siebzehnten Jahrhundert von Bertholin in Kopenhagen an dem isländischen Doppelspath (Kalkspath) beobachtet. Legt man einen solchen Kalkspathkrystall auf ein weißes Papier, auf welchem ein schwarzer Punkt sich befindet, so erscheint derselbe doppelt und man hat dem Kalkspath wegen seiner doppeltbrechenden Eigenschaft jenen Namen Doppelspath beigelegt.

Am besten beobachtet man die doppeltbrechende Kraft, wenn man aus einem Doppelspath-Rhomboëder ein Prisma schleift, da man dann zugleich ein doppeltes Farbenbild erhält.

Auf ähnliche Weise wie im Kalkspath geht die doppelte Brechung des Lichts in allen krystallisirten Körpern vor sich, deren Gestalt dem sechsseitigen System oder dem 2- und 1-achsigen angehört.

Chemische Wirkungen des Lichts.

Wie wesentlich der Einfluß namentlich des Sonnenlichts auf die chemische Thätigkeit in der Körperwelt ist, nehmen wir täglich an den Pflanzen wahr, denn die gesammte Schaar dieser lebenden Wesen bedarf zu ihrem kräftigen Gedeihen des Lichts. Sie erhalten ihre schöne lebhaft grüne Farbe nur unter Einwirkung des Sonnenlichts, während die Mehrzahl im Dunkeln erblaßt und sich einer vollkommenen Vegetation nicht zu erfreuen hat. Ebenfalls aber auch wirkt das Licht auf das thierische Leben einer großen Reihe von Geschöpfen wohlthuend ein.

Die mit dem sogenannten Blattgrün angefüllten oder grünen Theile der Pflanzen verschlucken aus der Luft Kohlensäure, welche in ihre beiden Bestandtheile, Kohlenstoff und Sauerstoff, zerlegt wird, indem der Kohlenstoff derselben den Pflanzen einverleibt und der Sauerstoff wieder in die Luft ausgehaucht wird. Daß dieser Proceß nur unter Einwirkung des Lichts vor sich geht, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man frische grüne Blätter in eine mit Kohlensäure-haltigem Wasser gefüllte Glasglocke bringt und diese dann dem Lichte aussetzt. Man wird dann in dem oberen Theile aufsteigende Gasblasen bemerken, welche sich an den Blättern entwickeln und Sauerstoff sind; wird die Glocke aber ins Dunkle gebracht, so zeigt sich keine Gasentwicklung, wenn dem Wasser sämmtliche freie Kohlensäure entzogen wurde. Ebenso befördert auch das Sonnenlicht die Vereinigung des Sauerstoffs der Luft mit dem Kohlenstoff und Wasserstoff organischer Substanzen, worauf namentlich das Blau und die Farbenveränderung mancher gefärbten Pflanzenstoffe beruht.

Nicht allein macht aber das Licht seinen Einfluß auf das Pflanzenleben geltend, sondern wirkt auch in anderer Weise sehr mannigfach auf die chemische Vereinigung und Zersetzung zahl-

reicher Substanzen ein, wiewohl im Allgemeinen die chemische Wirkung des Lichts auf die Thätigkeit des Sauerstoffs und vorzugsweise auf eine Ausscheidung desselben sich bezieht.

Vielfach angestellte Versuche haben gelehrt, daß die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen nicht auf ein und dieselbe Weise in chemischer Hinsicht wirksam sind, sondern daß ihr Einfluß von ihrer größeren oder geringeren Brechbarkeit und daher auch von ihrer verschiedenen Farbe abhängig ist. Man hat gefunden, daß das weiße Sonnenlicht und die brechbarsten Strahlen des Farbenbildes, die violetten und blauen, weit energischer auf die chemische Thätigkeit einwirken, als die weniger brechbaren rothen und gelben.

Schon der berühmte Chemiker Scheele beobachtete, daß mit Chlorsilber bestrichenes Papier in der violetten Farbe des Farbenbildes gefärbt wurde, während es in einem schwarzen Glase weiß blieb. Später haben weiter ausgedehnte Untersuchungen gezeigt, daß die chemischen Wirkungen der violetten Strahlen wirklich am stärksten sind und sich sogar noch über die Grenzen des Farbenbildes hinausdehnen, sich also noch auf die unbestimmten Strahlen beschränken, während die blauen schon eine schwächere und die rothen fast gar keine Wirkung hervorbringen. Die Concentration der violetten, blauen und zum Theil grünen Strahlen vermittelst einer Linse bewirkt schon in wenigen Minuten eine Schwärzung des Chlorsilbers, dagegen rufen die übrigen Strahlen des Farbenbildes, selbst wenn sie auch ebenso concentrirt sind, kaum eine Veränderung hervor.

Ob nun diese weniger brechbaren gelben und rothen Strahlen gar keine oder nur eine schwache Wirkung besitzen, oder ob sie das Vermögen in sich tragen, die von den übrigen Strahlen angeregte Wirkung fortzusetzen oder dieser sogar entgegenstreben,

ist noch nicht mit Bestimmtheit entschieden. Becquerel fand indessen, daß Bromsilber, wenn dasselbe dem Einfluß der rothen und gelben Strahlen ausgesetzt wird, nur dann durch diese eine Veränderung erleidet, wenn man der Verbindung zuvor den Einfluß des weißen Tageslichts oder auch des blauen oder violetten Lichts gestattet hat. Demnach würden also die gelben und rothen Strahlen wirklich die Fähigkeit besitzen, die von den blauen oder violetten Strahlen angeregte Wirkung fortzusetzen, so daß man diese letzteren als anregende und die gelben sowohl, als die rothen als fortwirkende betrachten könnte. Beim Jodsilber hat man ähnliche Beobachtungen gemacht und mehrere Forscher haben sich sogar dahin ausgesprochen, daß es möglich sei, die durch blaues Licht geschwärzten Chlor- und Jodsilberverbindungen durch mehrfache Einwirkung gelber Strahlen wieder in den ursprünglich leicht empfindlichen Zustand zu versetzen; jedoch möchten hierbei die Stärke des Lichts, sowie die Jahreszeit und klimatischen Verhältnisse wohl eine Rolle spielen.

Da sich jedoch nach den bis jetzt angestellten Untersuchungen ergeben hat, daß nur eigentlich, außer dem weißen Sonnenlicht, den brechbarsten Strahlen des prismatischen Farbenbildes (den violetten, blauen u. s. w.) eine kräftige chemische Wirkung zuzuschreiben ist und der Einfluß der weniger brechbaren (gelben, rothen u. s. w.) auf die chemische Thätigkeit nur ein untergeordneter zu sein scheint, so bezeichnet man jene ersteren nicht unpassend als chemische Strahlen.

Daß die Stärke des Lichts bezüglich der chemischen Thätigkeit sehr wesentlich ist, sieht man namentlich daraus, daß das gewöhnliche Feuerlicht keinen Einfluß ausübt, sondern daß dieses nur bei einer sehr hohen Stärke geschieht. Wir müssen daher das Sonnenlicht als die wirksamste Ursache der chemischen Thätigkeit betrachten, die sich auch bei manchen Verbindungen und

15*

Zersetzungen im höchsten Grade kräftig äußert. Befindet sich z. B. in einem verschlossenen Glase das grünlich-gelbe Chlorgas und das farblose Wasserstoffgas, so werden sich diese beiden Gase im Dunkeln nicht verbinden, sobald man sie aber dem gewöhnlichen Tageslicht in einem weißen oder blauen Glase aussetzt, tritt nach und nach eine Verbindung von Chlor-Wasserstoffergas ein, die im Sonnenlicht sehr rasch unter Explosion erfolgt; in einem rothen oder gelben Glase dagegen findet diese Vereinigung nicht Statt. Die gewöhnliche Salpetersäure oder das Scheidewasser wird hinter weißem und blauem Glase zersetzt; auch auf manche Metallverbindungen übt das Licht einen zersetzenden Einfluß aus; überhaupt ließe sich eine große Reihe von Beispielen anführen, welche dafür sprechen, daß das Licht seinen chemischen Einfluß geltend macht.

Lichtbilder. (Photographie.)

Die Veränderungen, welche die Verbindungen des Silbers mit Chlor, Jod und Brom durch die Einwirkung des Lichts erleiden, haben zu der Anwendung Veranlassung gegeben, die Bilder der dunklen Kammer (s. *Fig. 100 A.* u. *B.*) zu fixiren und auf diese Weise getreue Abbildungen beliebiger Gegenstände zu erhalten. Von den verschiedenen zu diesem Zweck angewendeten Methoden gebührt dem von Daguerre entdeckten Verfahren der Vorzug, welches man nach ihm Daguerreotypie genannt hat. Dieses Verfahren besteht wesentlich in Folgendem: eine versilberte Kupferplatte wird Dämpfen von Jod ausgesetzt, wodurch dann auf der Oberfläche ein dünner Ueberzug von Jodsilber entsteht. Bringt man nun die jodirte Platte in die dunkle Kammer, so entsteht auf derselben nach einiger Zeit ein noch unsichtbares Bild, indem das Jodsilber auf den von den Lichtstrahlen getroffenen

Stellen zum Theil zersetzt wird. Das Bild erscheint, wenn man die Platte Quecksilberdämpfen aussetzt; das Quecksilber verbindet sich nun mit dem ausgeschiedenen Silber, kann aber auf das Jodsilber nicht einwirken. Ist das Bild hinlänglich ausgeprägt, so muß es von den noch vorhandenen Jodverbindungen befreit und für fernere Lichteinwirkung unempfindlich gemacht werden, was durch Einlegen der Platte in eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron geschieht.

Das Verfahren bei der Daguerreotypie besteht in sechs Operationen, nämlich in dem Poliren der Platte, der Jodirung, dem Einbringen in die dunkle Kammer, der Fixirung der Bilder, der Vergoldung des Bildes und Trocknung auf der Platte.

Das Polirmittel der Platten ist englisches Roth, welches mittelst eines Beutels auf die Platte gestreut und umhergerieben wird. Die Jodirung der Platte geht in einem viereckigen Kasten vor sich, in welchem sich ein nach unten verjüngter Eingang befindet, auf dessen Boden Jod in einer Schale steht. Man läßt die Joddämpfe so lange einwirken, bis die Platte einen goldgelben Anflug angenommen hat. Anstatt des Jods wendet man auch häufig Bromkalk oder eine Mischung desselben mit Chlorkalk an, um die Platte mit einer sehr empfindlichen Schicht Chlorsilber zu überziehen. Die jodirte Platte wird darauf in die dunkle Kammer gebracht; die Fixirung geschieht durch Quecksilberdämpfe, welchen man die Platte aussetzt. Dieselbe Operation wird in einem Kasten, auf dessen Boden sich ein Gefäß mit bis zu 90° erwärmtem Quecksilber befindet. Unmittelbar nach dem Fixiren erscheint die jodirte Platte nicht verändert und es ist noch kein Bild darauf wahrzunehmen. Nachdem die Platte durch eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron gezogen worden ist, sind die überflüssigen Jodverbindungen entfernt worden und es braucht das Bild von nun an nicht mehr gegen das Licht geschützt zu

werden. Um das Bild nicht nur weniger abwischbar, sondern auch kräftiger zu machen, wird es vergoldet.

Anstatt der plattirten Platte wurde zuerst auf Talbot's Vorschlag Papier angewendet und so entstanden Lichtbilder auf Papier, später auf Glas, so daß die Photographie, im engeren Sinne, welcher derartige Leistungen angehören, unter manchen Vervollkommnungen die Daguerreotypie fast ganz verdrängt hat.

Im Allgemeinen hat man zur Darstellung der Lichtbilder auf Papier folgende Operationen auszuführen: 1) die chemische Zubereitung des Papiers, 2) das Einstellen des Papiers in die dunkle Kammer, 3) die Hervorrufung eines negativen Bildes, 4) das Fixiren dieses Bildes, 5) die Hervorrufung des positiven Bildes, 6) das Fixiren des positiven Bildes.

Man hat also hiernach zuerst negative Bilder darzustellen, d. h. solche zu erzeugen, auf denen die dunkelsten Stellen weiß, die stärksten Lichter ganz schwarz und undurchsichtig hervortreten. Mit Hülfe dieser negativen Bilder erhält man dann die positiven, d. h. solche, auf denen die Schatten dunkel und die Lichter hell erscheinen.

Das erforderliche Papier muß gleichförmig sein und darf weder Leim noch Stärkemehl enthalten. Nachdem man demselben eine der dunklen Kammer entsprechende Form gegeben hat, tränkt man es mit einer Auflösung von reinem Jodkalium in dem fünffachen Gewicht destillirten Wassers, nebst einigen Tropfen einer concentrirten Cyankaliumlösung, indem man das Papier mit der platten Seite auf dieser Flüssigkeit einige Minuten lang schwimmen läßt. Hierauf wird das Papier zwischen feinem Fließpapier getrocknet und mit der noch feuchten Seite auf die Oberfläche einer Lösung von geschmolzenem salpetersauren Oxyd in der zehnfachen Gewichtsmenge destillirten Wassers, welche mit $\frac{1}{2}$—1 Theil Essigsäure versetzt worden ist, gelegt, und man läßt

nun wieder das Papier einige Minuten lang schwimmen. Auf diese Weise wird das Papier durch gebildetes Jodsilber für das Licht empfindlich gemacht, für welchen Zweck mannigfache andere Vorschriften gegeben worden sind. Das auf diese oder eine andere entsprechende Weise präparirte Papier wird nun auf eine Glastafel gelegt und in einem passenden Rahmen in die dunkle Kammer gebracht, in welcher man dasselbe, je nach der Stärke des zerstreuten Tageslichts, der Einwirkung des Lichtes aussetzt. Man wird dadurch ein unsichtbares negatives Bild erhalten, welches hervorgerufen wird, indem man das Papier von der Glastafel abhebt und auf eine andere legt, auf welcher eine gesättigte Lösung von Gallussäure ausgebreitet wird, wodurch man das negative Bild erzeugt. Um das Bild zu fixiren, wird es mit destillirtem Wasser abgespült und mit einer Auflösung von unterschwefligsaurem Natron übergossen, um das niedergesetzte Jodsilber aufzulösen. Das Bild wird nun oberflächlich zwischen Fließpapier getrocknet, mit Wasser abgewaschen und schließlich vollständig an der Luft getrocknet.

Um das negative Bild zur Darstellung positiver Bilder zu benutzen, muß es durchsichtig gemacht werden, welches man erreicht, indem man dasselbe in getrocknetem Zustande mit dünngeschabtem weißen Wachs, Paraffin oder Wallrath überstreut, zwischen Fließpapier legt und sodann ein nicht zu heißes Bügeleisen darüber gehen läßt. Auf der andern Seite bereitet man sich für die positive Copie ein Papier, indem man z. B. gleichförmiges, geglättetes Velinpapier in eine Auflösung von einem Theil Kochsalz in 12 Theilen Wasser legt, bis es sich gleichmäßig damit getränkt hat. Es wird alsdann zwischen Fließpapier oberflächlich gepreßt und hierauf auf einer Auflösung von fünf Theilen salpetersaurem Silberoxyd schwimmen gelassen.

Nach dem Trocknen legt man das durchscheinende negative

Bild mit der Rückseite auf eine geschliffene Glasplatte und auf die Bildseite desselben das mit Kochsalz und Silbersalz oder vielmehr mit Chlorsilber überzogene Papier, bedeckt die Rückseite desselben mit einer Glasplatte und preßt Alles in einem sogenannten Copirrahmen dicht zusammen, worauf das Ganze entweder $1/_2$ bis 1 Stunde dem gewöhnlichen Tageslicht oder 5 bis 15 Minuten der Einwirkung directer Sonnenstrahlen ausgesetzt wird. Nach hinreichender Einwirkung des Lichts wird man auf dem positiven Papier eine Copie erhalten, welche mit einer Auflösung von einem Theil unterschwefligsaurem Natron in 100 Theilen Wasser fixirt wird, indem man das Bild $1/_2$ Stunde in dieser Lösung läßt, aus derselben herausgenommen, zwischen Fließpapier trocknet, mit destillirtem Wasser sorgfältig auswäscht und endlich vollkommen trocknet. — Der Tuschpinsel und das Retouchiren thun ihre guten Dienste, um die Bilder zu verschönern.

In neuerer Zeit erzeugt man anstatt auf Papier das negative Bild vielfach auf einer Collodiumschicht, indem man diese durch Auflösen von Schießbaumwolle in alkoholhaltigem Aether erzeugte Masse über eine Glastafel ausbreitet, nachdem man dem Collodium zuvor Substanzen zugesetzt hat, welche gegen die Einwirkung des Lichts sehr empfindlich sind. Zu dem Ende bringt man z. B. in ein Glas, welches 12 Loth faßt, 12 Gran Jodkalium nebst 7—8 Gran Jodsilber, einige Tropfen Wasser zur Auflösung und füllt endlich das Glas mit dem flüssigen Collodium. Nachdem man einige Male geschüttelt hat, läßt man die Mischung mehrere Tage stehen und kann sie dann zu obigem Zweck in Gebrauch nehmen, d. h. die Glastafel damit überziehen. Nachdem dies geschehen, bringt man die so präparirte Glasplatte in ein Bad von salpetersaurem Silberoxyd, welches 40 Gran dieses Salzes auf 2 Loth Wasser enthält. Sobald sich nun die Platte mit einer weißlichen Schicht überzogen hat,

ist es Zeit, dieselbe in einem Rahmen der dunklen Kammer 3—4 oder auch 10—15 Secunden der Einwirkung des Lichts auszusetzen. Hierauf wird das Bild, nachdem die Platte aus der Kammer herausgenommen und mittelst einer Mischung hervorgerufen, welche z. B. aus 33 Gran Brenzgallussäure, 400 Gran Essigsäure und 24 Loth Wasser bestehen kann. Ist das Bild auf diese Weise hervorgerufen, so wird es nach gehörigem Abwaschen mit Wasser mittelst einer gesättigten Lösung von unterschwefligsaurem Natron (20 Theile in 100 Theilen Wasser) oder mittelst einer Lösung von 6 Theilen Cyankalium in 100 Theilen Wasser fixirt. Nach dem Abwaschen wird das Bild über einer Lampe oder in der Luft getrocknet. Das negative Bild kann dann auf obige Weise in ein positives verwandelt werden, oder auch dadurch, daß man dasselbe ohne Weiteres in ein Bad von 25 Theilen Cyankalium, 4 Theilen salpetersaurem Silberoxyd in 100 Theilen Wasser, legt. Uebrigens lassen sich auch directe positive Bilder auf Glas, sowie mit Hülfe positiver Collodiumbilder sehr kräftige negative Bilder erzeugen, jedoch geht ein Weiteres über vorliegenden Zweck hinaus.

Elektricität.

Fragen wir uns, was Elektricität ist, so werden wir uns ebensowenig eine genügende Antwort geben können, als wir im Stande sind, den richtigen Begriff von Licht und Wärme aufzustellen; denn wir kennen nicht das eigentliche Wesen der Elektricität, sondern nur ihre Wirkungen. Man bezeichnet mit diesem Ausdruck die unbekannte Ursache einer Reihe von Erscheinungen, die durch einen eigenthümlichen Zustand, welchen die Körper unter gewissen Bedingungen annehmen können, hervorgerufen werden. Diesen eigenthümlichen Zustand erkannte man zuerst dadurch, daß durch Reibung manchen Körpern die Eigenschaft ertheilt

werden konnte, specifisch leichte und namentlich leicht bewegliche Körper anzuziehen und nach der Berührung meistens wieder abzustoßen. Am deutlichsten giebt sich jedoch dieser eigenthümliche Zustand dann zu erkennen, wenn derselbe in einem stärkern Grade erregt worden ist und wir die merkwürdige Erscheinung wahrnehmen, daß von den mit dieser Eigenschaft begabten oder sogenannten elektrischen Körpern auf andere naheliegende ein Funken überspringt.

Die Benennung „Elektricität" ist aus dem Griechischen von dem Worte, welches Bernstein bedeutet, entnommen, weil man an diesem Körper zunächst beobachtete, daß ihm durch Reibung die merkwürdige Eigenschaft ertheilt wurde, leichte Körpertheilchen, wie z. B. Papierschnitzelchen, Kügelchen von Hollundermark, Stückchen einer Federfahne u. s. w., anzuziehen. Später fand man jedoch, daß auch in andern Körpern, wie z. B. Schwefel, Glas, Siegellack, Harzen, dieser eigenthümliche Zustand erregt werden kann.

Obgleich nun Reibung als die erste Quelle des elektrischen Zustandes der Körper zu betrachten ist, so ist sie jedoch nicht die alleinige, sondern man kann zu den mannigfachen Erregungsmitteln der Elektricität namentlich auch die Berührung, Wärme, den chemischen Proceß und Magnetismus zählen.

Rücksichtlich ihrer mechanischen und chemischen Wirkungen äußert sie sich aber ganz unabhängig von ihren Erregungsmitteln auf ein und dieselbe Weise.

Die erste annehmbare Erklärung über elektrische Erscheinungen verdanken wir dem berühmten Benjamin Franklin, wiewohl schon früher Dufay beobachtet hatte, daß die durch Reibung des Glases erregte Elektricität von der auf dieselbe Weise in Harzen hervorgerufenen verschieden ist, woher man denn nach ihm Glas- und Harzelektricität unterscheidet.

Franklin dachte sich unter „Elektricität“ ein ätherisches Fluidum, welches überall in der Natur verbreitet ist, dessen Theilchen sich einander wechselseitig zurückstoßen und von allen wägbaren Materien angezogen werden. Nach ihm enthält jeder Körper eine gewisse Menge dieses Fluidums, die seinem natürlichen Zustande angemessen ist. Dieses Fluidum wird aber erst dann bemerkbar, wenn es in einem Körper in größerer Menge vorhanden ist, als bei anderen ihn umgebenden und ein Streben nach Gleichgewicht eintritt.

Franklin nannte daher die Körper, in denen ein Ueberschuß von Elektricität, d. h. mehr als ihrem natürlichen Zustand zukommt, vorhanden ist, positiv-elektrische, während er die, welche der ihnen gehörenden Elektricität ermangeln, als negativ elektrische bezeichnet. Die positive Elektricität fällt nach ihm mit der Glaselektricität zusammen, weil er annahm, daß dem Glase durch Reibung ein Ueberschuß von Elektricität ertheilt werde; negative Elektricität ist dagegen mit der Harzelektricität gleichbedeutend, da nach ihm die Harze beim Reiben Elektricität verlieren. Die hiervon herrührenden Benennungen „positive und negative Elektricität“ haben sich bis auf den heutigen Tag erhalten. Später machte Robert Symmer die Beobachtung, daß Körper, welche freie positive Elektricität haben, einander abstoßen und solche anziehen, welche keine oder negative Elektricität enthalten; er bemerkte aber auch, daß dasselbe bei solchen der Fall ist, welche freie negative Elektricität haben; daß sie sich ebenso abstoßen und andere, mit positiver Elektricität begabte anziehen. Da man sich aber nicht gut denken kann, daß sich da eine Kraft äußern soll, wo keine vorhanden ist, so kam Symmer auf die Idee, zwei elektrische Fluida anzunehmen, die ihre eignen Theile abstoßen und sich wechselseitig anziehen, übrigens aber in ihrem Verhalten gleich, nur ihrem Wesen nach ver-

schieden sind. Bei ihrer gegenseitigen Anziehung vereinigen sie sich und es tritt ein Gleichgewichtszustand ein, oder sie neutralisiren sich, so daß sie ein für uns nicht wahrnehmbares Fluidum bilden.

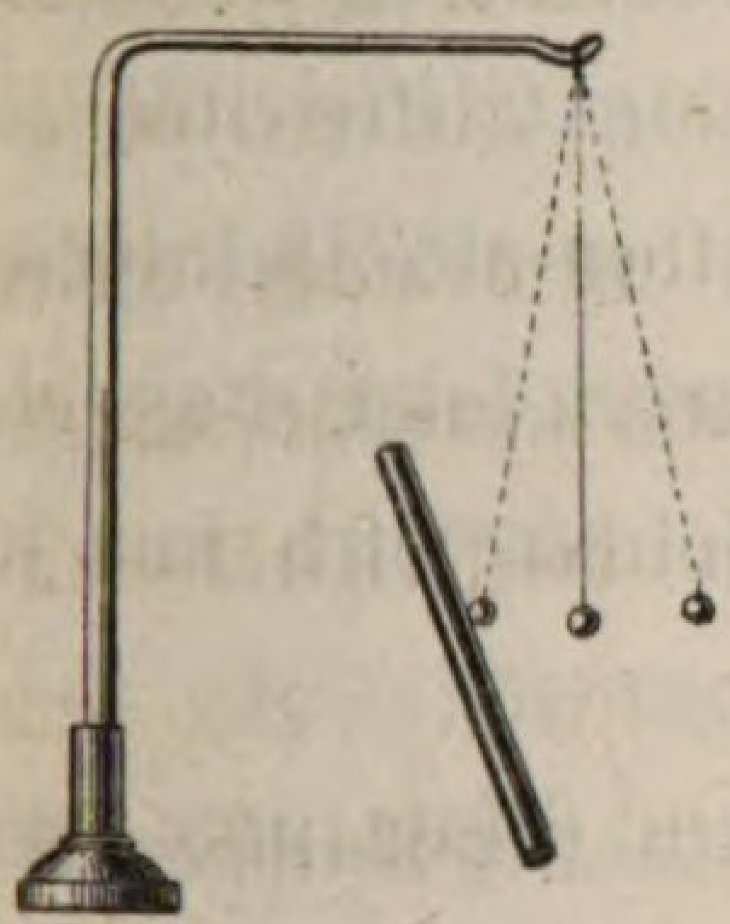
Entsteht Elektricität durch Reibung, so wird nach dieser Theorie in diesem Fluidum dadurch das Gleichgewicht aufgehoben, so daß der reibende Körper die eine Elektricität aufnimmt, während dem geriebenen die andere zufließt. Bei dem sogenannten elektrischen Schlag stellt sich aber das Gleichgewicht wieder her, und die entgegengesetzten Elektricitäten nehmen ihren Weg nach verschiedenen Richtungen, bis sie sich vollkommen neutralisiren; Symmer hat zwar deshalb die Bezeichnungen „positive oder negative Elektricität“ verworfen, aber keine passenderen gegeben, so daß man sie bis jetzt noch beibehalten hat. Obgleich nun die Franklin'sche Theorie im Anfange bedeutende Anhänger fand, so sprechen doch manche Erscheinungen für die Symmer'sche Ansicht und diese hat daher jene verdrängt.

Läßt sich auch nach der letzteren die Anziehung erklären, so ist dies doch mit der Abstoßung nicht der Fall; namentlich reimt sich die von Symmer gemachte Beobachtung, daß auch die Körper, welche freie negative Elektricität haben, sich einander abstoßen, mit der Franklin'schen nicht zusammen; jedoch lassen sich die elektrischen Erscheinungen nach der Symmer'schen Ansicht ungezwungener erklären.

In neuester Zeit haben zwar manche Gelehrte andere Theorien aufzustellen versucht und beide angeführten verworfen; da es ihnen aber nicht gelang, diese durch vollkommenere zu ersetzen und Aufschluß über das eigentliche Wesen der Elektricität zu geben, so müssen jene, wenn auch an und für sich unvollkommene Ansichten beibehalten werden.

Prüfung des elektrischen Zustandes der Körper.

Fig. 107.



Um zu erfahren, ob ein Körper electrisch ist, bedient man sich der Elektroskope, z. B. des sogenannten einfachen elektrischen Pendels. (*Fig. 107.*)

Dasselbe besteht aus einem kleinen Hollunderkügelchen, welches an einem feinen Faden von Seide aufgehängt ist.

Nähert man dieser Kugel von Hollundermark einen Körper, welcher in den elektrischen Zustand versetzt ist, so wird das Kügelchen angezogen; ist der Körper aber nicht elektrisch, so wird keine Anziehung stattfinden. Diesen Versuch kann man sehr leicht mit einer Siegellackstange, welche mit einem wollenen Tuche gerieben wurde, und ebenfalls mit einer andern ungeriebenen, anstellen.

Der Gebrauch der Elektroskope, deren man verschiedene hat, lehrt uns, ob und in welchem Grade die Körper die Fähigkeit in sich tragen, elektrisch zu werden, und wir finden dadurch, daß, wie schon erwähnt, in Harzen, Schwefel, Glas, Bernstein u. s. w. eine starke elektrische Kraft erregt werden kann. Geriebene Metalle dagegen werden auf die Elektroskope durchaus gar nicht wirken, auch bei Edelsteinen, Holz und Kohle wird man gar keine Anziehung wahrnehmen.

In Folge dieser verschiedenen Fähigkeiten kam man zur Eintheilung der elektrischen und unelektrischen Körper, indem man unter den ersteren solche verstand, welche die Eigenschaft in sich tragen, durch Reibung in den eigenthümlichen elektrischen Zustand versetzt zu werden, während die unelektrischen als solche betrachtet werden, welche nicht elektrisch gemacht werden können. Jedoch überzeugte man sich bald, daß Metalle und auch die übrigen unelektrischen Körper das Vermögen in sich tragen, in den elektrischen Zustand übergeführt zu

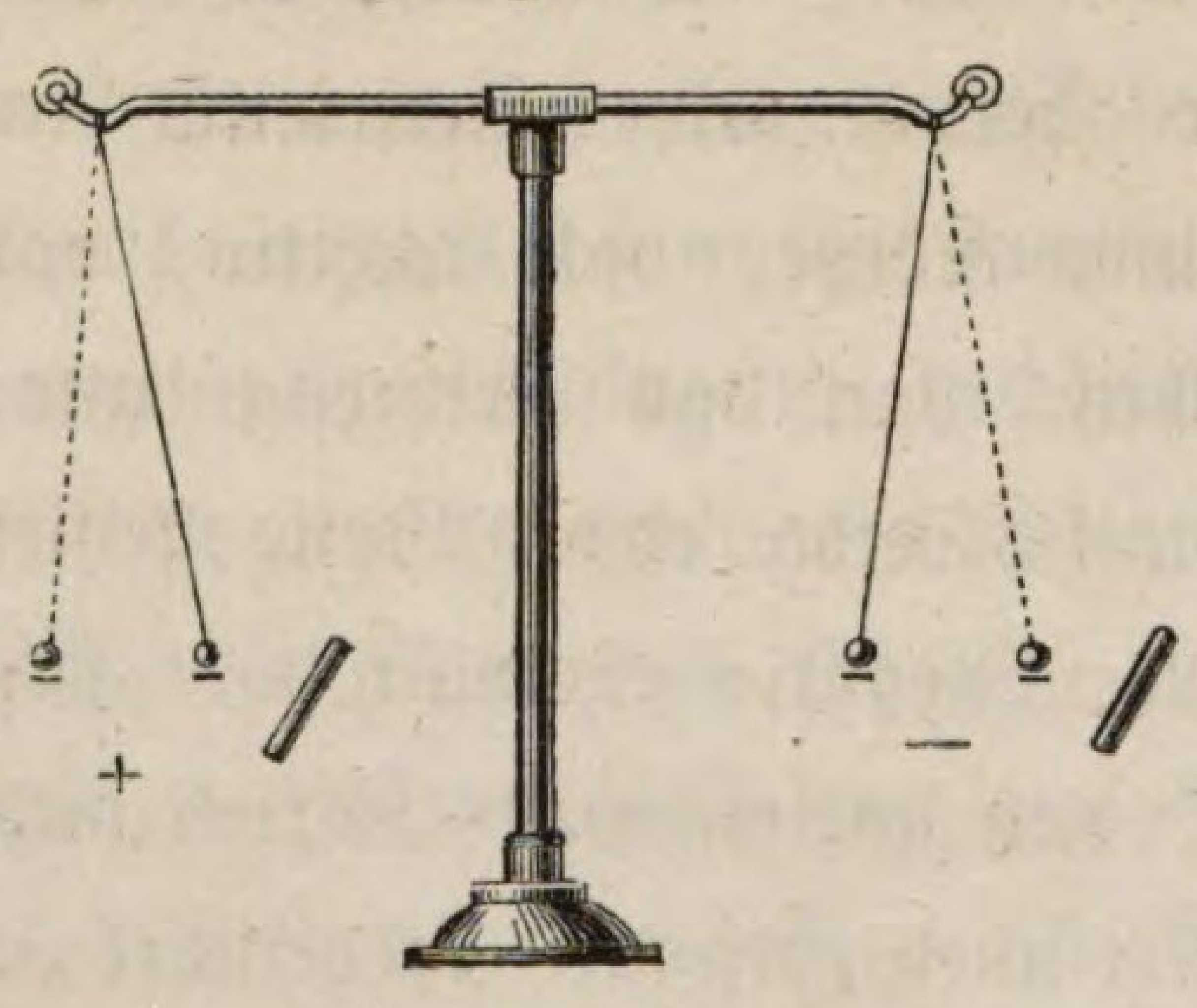
werden, aber ihre Elektricität leichter wieder verlieren, als die sog. idioelektrischen; man ist demnach zu dem richtigen Unterschied von Leitern oder Nichtleitern, besser schlechten Leitern, gekommen. Die Eigenschaft der idioelektrischen Körper, die Elektricität zu leiten, ist nun auch dazu benutzt worden, dieselben als Isolatoren anzuwenden, wodurch wenigstens verhindert werden kann, daß die Leiter ihre Elektricität verlieren, denn ein solcher wird nur so lange Elektricität behalten, als er isolirt ist.

Zu den schlechten Leitern sind außer dem Glase und dem Harze noch die Luft und alle trocknen Gase, die Nichtmetalle, Wachs, Talg, Zucker, fette Oele, Haare, Pelz u. s. w. zu zählen, während die Metalle, Erze, Kohle, Graphit und manche feuchte und flüssige Körper, die feuchte Luft zu den besten Leitern gehören.

Die beiden verschiedenen Elektricitätsflüssigkeiten.

Bringt man einen elektrischen Glasstab mit zwei isolirten Goldblättchen in Berührung, so daß diesen die Elektricität des Glases mitgetheilt wird, so wird man bemerken, daß die beiden sich gegenseitig abstoßen, wie dies ebenfalls durch eine geriebene Siegellackstange geschieht. Theilt man aber dem einen Glas- und dem andern Harzelektricität mit, so wird man wahrnehmen, daß sie sich anziehen. Noch deutlicher tritt diese merkwürdige Eigenschaft hervor, wenn man zwei isolirten elektrischen Pendeln *(Fig. 108.)* die verschiedene Elektricität mittheilt.

Fig. 108.



Bringt man mit dem einen dieser Pendel eine mit Seide geriebene Glasstange in Berührung und mit dem andern eine mit Pelz geriebene Schellack-

oder Siegellackstange zusammen, so wird man beobachten, daß das eine Kügelchen, welches durch die Glasstange abgestoßen, durch die Siegellackstange angezogen wird, während auf der andern Seite das von dieser abgestoßene vom Glase angezogen wird. Da sich hier die Elektricitäten wie zwei entgegengesetzte Größen verhalten, so hat man die Glaselektricität als positive und Harzelektricität als negative bezeichnet.

Aus den angestellten Versuchen ergiebt sich das Gesetz, daß ungleichartige Elektricitäten sich anziehen, und gleichartige sich abstoßen; sind aber die entgegengesetzten Elektricitäten in einem Körper in gleicher Menge enthalten, so neutralisiren sie sich, indem sie gegenseitig verbunden werden, wobei sich der Körper in seinem natürlichen Zustande befindet.

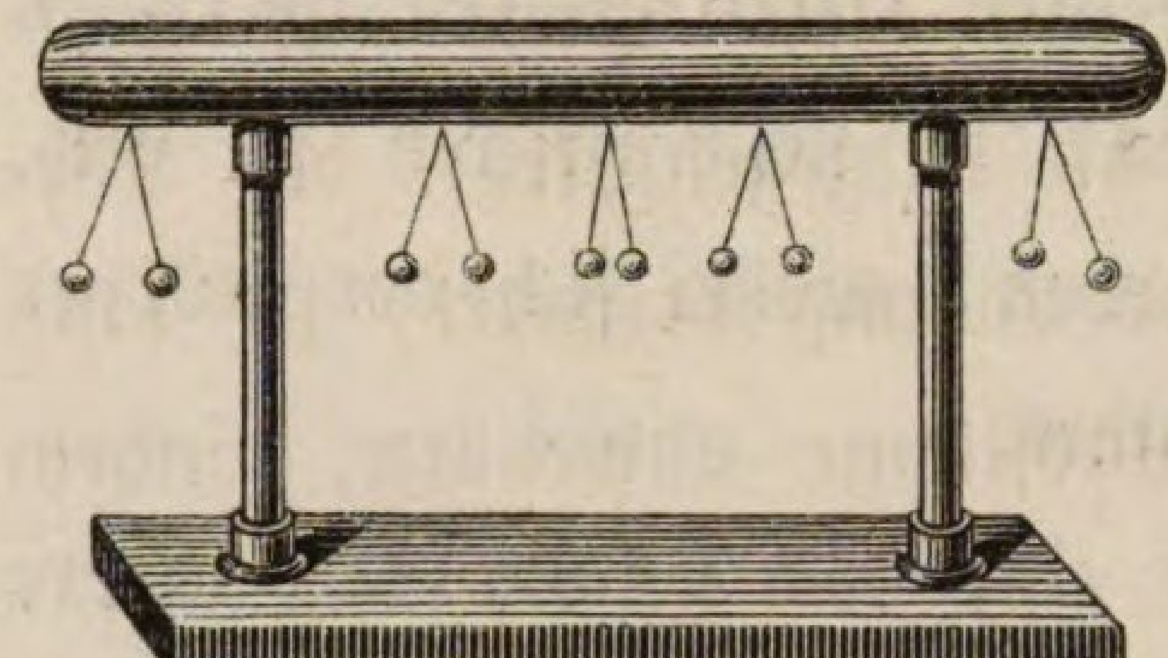
Reibt man zwei Scheiben, die eine von Glas, die andere von Holz mit Leder überzogen, und mit Amalgam bestrichen, beide durch einen Glasstab isolirt, an einander, so wird man keine Spur von Elektricität wahrnehmen, so lange sie mit einander in Berührung bleiben; trennt man sie aber von einander, so wird die eine positiv und die andere negativ elektrisch, woraus hervorgeht, daß wenn in einem Körper positive Elektricität frei wird, auch negative Elektricität entwickelt werden muß.

Man kann demnach, da ein Körper in seinem natürlichen Zustande die beiden Elektricitäten in gleichem Maße enthält, auch nicht annehmen, daß der eine oder der andere besonders geeignet sei, vorzugsweise positive oder negative Elektricität aufzunehmen, sondern man kann einen Körper bald positiv, bald negativ elektrisch machen, nur muß man das Reibzeug danach wählen, so wird z. B. Glas mit Seide oder Wolle positiv elektrisch und mit Katzenpelz gerieben negativ elektrisch.

Es ist oben gesagt worden, daß gleichartige Elektricitäten sich abstoßen und ungleichartige sich anziehen; dies geschieht jedoch

nicht allein, wenn die beiden elektrischen Flüssigkeiten wirklich zersetzt werden, sondern diese Anziehung und Abstoßung findet auch Statt, wenn die Elektricitäten mit einander verbunden sind, weshalb auch dieselben, wenn man dem Körper, dem sie angehören, einen elektrischen Körper nähert, vertheilt werden. Von dieser Vertheilung der Elektricitäten kann man sich leicht überzeugen, wenn man an einem Metallstabe mehre Pendelpaare *(Fig. 109.)*, vermittelst feiner Metallfäden befestigt und diesen Pendelpaaren einen elektrischen Körper nähert; die Pendelpaare werden dann auseinander gehen; entfernt man aber den elektrischen Körper, so werden die Kügelchen wieder zusammenfallen. Mit Hülfe eines Elektroskops, welches zuvor schon mit einer bekannten Elektricität geladen worden ist, kann man sich leicht überzeugen, welche dieser Kügelchen mit positiver oder mit negativer Elektricität begabt sind.

Fig. 109.



Als Elektroskop kann man sich des in *Fig. 110* abgebildeten Apparats bedienen; derselbe besteht aus einem Glasgefäß, in dessen Hals ein Messingstab, mit einer isolirenden Schicht umgeben, eingelassen ist. Der Messingstab hat oben eine Schraube, auf welcher man nach Belieben eine Messingkugel oder eine Metallplatte aufschrauben kann. Am unteren Ende sind am Stabe zwei Blättchen Rauschgold befestigt.

Fig. 110.



Um diesen Apparat mit einer bekannten Elektricität zu laden, nähert man demselben einen Körper, der diese enthält und berührt die Platte mit

dem Finger. Dadurch wird alle Electricität abgeleitet und im Apparat bleibt nur die angezogene, welche auf der Platte angehäuft ist. Sie ist hier gewissermaßen gebunden, d. h., sie kann sich nicht entfernen, weil sie durch den Körper angezogen wird, weshalb die Blättchen nicht auseinandergehen; sobald man aber erst den Finger und dann den Körper entfernt, so gehen die Pendel auseinander, weil nun die Elektricität, welche durch den Körper in der Platte gebunden worden war, sich frei über das Ganze ilsolirte System, also auch über die Blättchen verbreitet.

Die Elektricität, mit welcher auf diese Weise das Elektroskop geladen wird, ist natürlich die entgegengesetzte des Körpers; wenn man also eine negative Ladung bezweckt, so kann man eine mit Seide geriebene Glasstange anwenden, indem diese positiv elektrisch ist.

Nähert man dem so geladenen Elektroskop einen elektrischen Körper, so wird dadurch die Divergenz der Pendel entweder vergrößert oder verkleinert werden. Sie wird vergrößert, wenn die Elektricität des zu untersuchenden Körpers mit denen gleichnamig ist, welche man dem Apparat mitgetheilt hat, aber verkleinert, wenn sie ungleichnamig ist.

In der Nähe einer kräftigen Elektrisirmaschine empfindet man eine Wirkung der Vertheilung, sobald ein anderer den Conductor entladet.

Die Elektrisirmaschine ist überhaupt als eine der besten Erzeugungsapparate großer Mengen von Elektricitäten zu betrachten. Die erste Maschine wurde von Otto v. Guerike eingerichtet.

Im Wesentlichen besteht ein solcher Apparat, welcher auf den Gesetzen der Erzeugung von Elektricität durch Reibung beruht, aus einem schlecht leitenden Körper, welcher gerieben wird, aus einem guten Leiter, der als Reibzeug dient, und aus

einem isolirten Conductor, welcher zur Sammlung der erregten Elektricität bestimmt ist.

Der geriebene Körper besteht in der Regel aus einer Glasscheibe oder einem Glascylinder, die auf einer wagerecht liegenden Achse ruhen und mittelst Kurbeln gedreht werden, wodurch bewirkt wird, daß sie sich am festliegenden mäßig angedrückten Reibzeuge reiben.

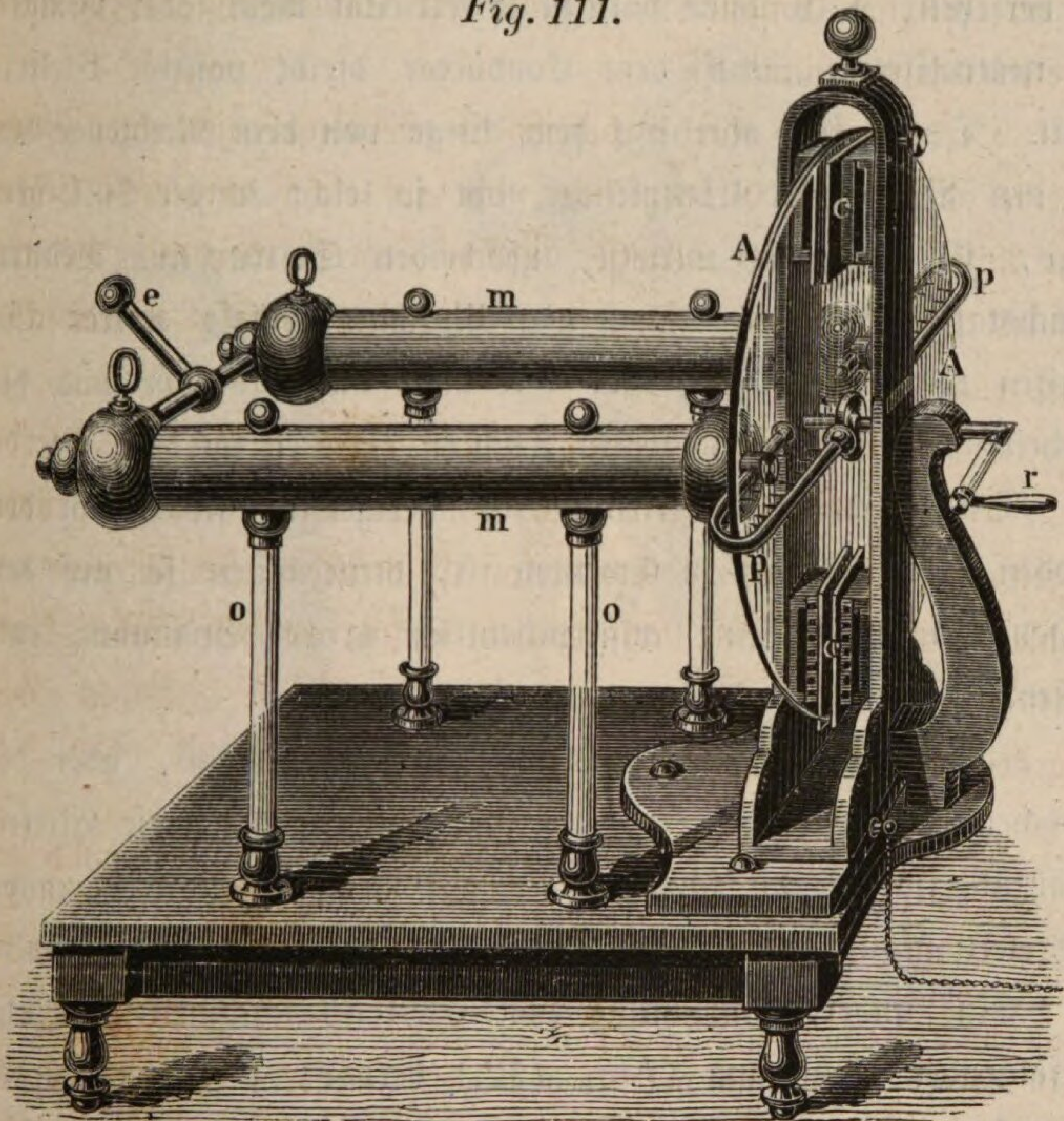
Dieses Reibzeug besteht gewöhnlich aus einem mit Pferdehaaren gepolsterten Kissen, das mit Quecksilberamalgam überzogen ist. Der isolirte Conductor ist meistens ein System von hohlen Cylindern aus Messingblech, welche an den Enden kugelförmig abgerundet sind, und von gläsernen mit Schellack überzogenen Säulen getragen werden.

Anmerkung. Das Quecksilberamalgam besteht gewöhnlich entweder aus einem Thl. Zinn, 1 Thl. Zink, 2 Thl. Quecksilber oder aus 2 Thl. Zinn, 3 Thl. Zink und 4 Thl. Quecksilber. Zur Herstellung desselben schmelzt man zuerst das Zinn in einem Almeroder Tiegel und setzt dann stückweise das Zink hinzu; zuletzt kommt das Quecksilber; letzteres wird vorher erhitzt und unter beständigem Umrühren langsam zugesetzt, während der Tiegel schon vom Feuer genommen ist. Unter fortwährendem Umrühren mit einem eisernen Stabe gießt man dann die Masse langsam in Wasser. Man erhält das Amalgam auf diese Weise gekörnt, und kann es mit einem Hammer auf Papier fein reiben. Es wird getrocknet und in einem wohlverwahrten Gefäß verschlossen. Frisch gepulvertes wird immer besser als älteres; will man frisches Amalgam auftragen, so muß das alte mit einem Messer abgeschabt werden; das Leder wird sodann ganz schwach mit Fett bestrichen und das Amalgam mit dem Wasser darauf möglichst gleich vertheilt, indem man es aufstreicht.

Die Einrichtung der Elektrisirmaschinen ist eine sehr verschiedene, es mag daher hier eine der gewöhnlichsten beschrieben werden, wovon *Fig. 111.* eine Abbildung liefert.

Die Glasscheibe A. hat gewöhnlich einen Durchmesser von 3—4 Fuß und ist in der Mitte durchbohrt, damit die durch diese Oeffnung gehende Achse mittelst einer Kurbel r gedreht werden

Fig. 111.



kann. Die Pfeiler s tragen sowohl die Scheibe als auch die beiden Paare von Kissen, welche die Scheibe vom Rande bis ungefähr $^1/_3$ oder zur Hälfte ihres Halbmessers reiben. Der Conductor e m m ist durch Säulen o isolirt und endigt mit zwei Backen p, welche am Ende des horizontalen Durchmessers um dieselben herumgreifen.

Dreht man mittelst der Kurbel die Glasscheibe herum, so wird dadurch das mit Amalgam überzogene Lederkissen positiv elektrisch. Nach einer Viertelumdrehung gelangt aber immer eine oben zwischen den Kissen hervortretende Scheibe zu den Backen. Die negative Elektricität wird angezogen und strömt auf das Glas über, um es wieder in den gewöhnlichen Zustand

zu versetzen, d. h. seine positive Elektricität mehr oder weniger zu neutralisiren. Auf dem Conductor bleibt positive Elektricität. Damit sich aber auf dem Wege von dem Reibzeuge bis zu den Backen die Elektricität nicht so leicht in die Luft verliere, ist hier die Scheibe auf beiden Seiten mit Stücken Wachstaffent behängt. Soll die Maschine kräftig wirken, so müssen unmittelbar vor dem Gebrauch die Glasfüße und die Scheibe mit warmen wollenen Tüchern gerieben werden.

Die negative Elektricität des Reibzeuges strömt in den Boden über, welches nothwendig ist, denn bliebe sie auf den Kissen, so würde eine außerordentlich große Spannung entstehen.

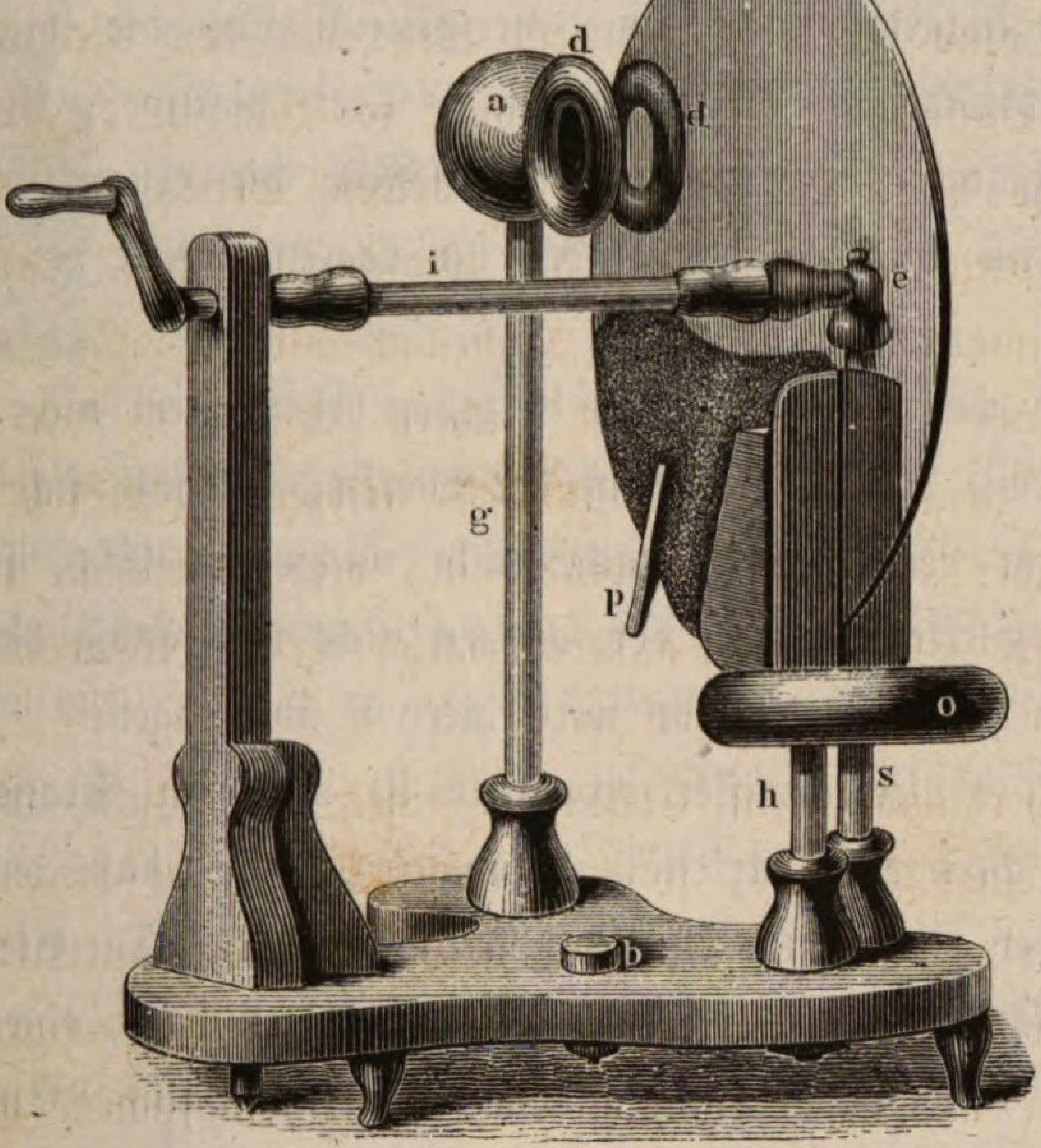
Nähert man dem Conductor einen Metallstab, oder die Knöchel eines Fingers, so wird man, indem die freie Elektricität überspringt, die schöne und höchst merkwürdige Erscheinung des elektrischen Funkens auf eine glänzende Weise wahrnehmen.

Eine andere Einrichtung von Elektrisirmaschinen geht aus beifolgender Abbildung (*Fig. 112.*) hervor, dieselben werden von Herrn Carl Winter in Wien verfertigt und sind sehr kräftig.

Die Säulen g h s und die Achse i sind von Glas; die Umdrehungsachse i wird durch den Glasfuß s und eine hölzerne Stütze, und das Reibzeug durch h getragen. Der Conductor a und der Conductor o sind von Messing. Der Conductor trägt die Holzringe d, zwischen denen sich die Scheibe bewegt. Diese Ringe sind von polirtem Holze und jeder ist mit der der Glasscheibe zugekehrten Seite mit einem Stanniolstreifen versehen, an welchem die Saugspitzen hervorragen und welche bis zum Conductor a fortgesetzt, die aufgesaugte Electricität diesem zuführen.

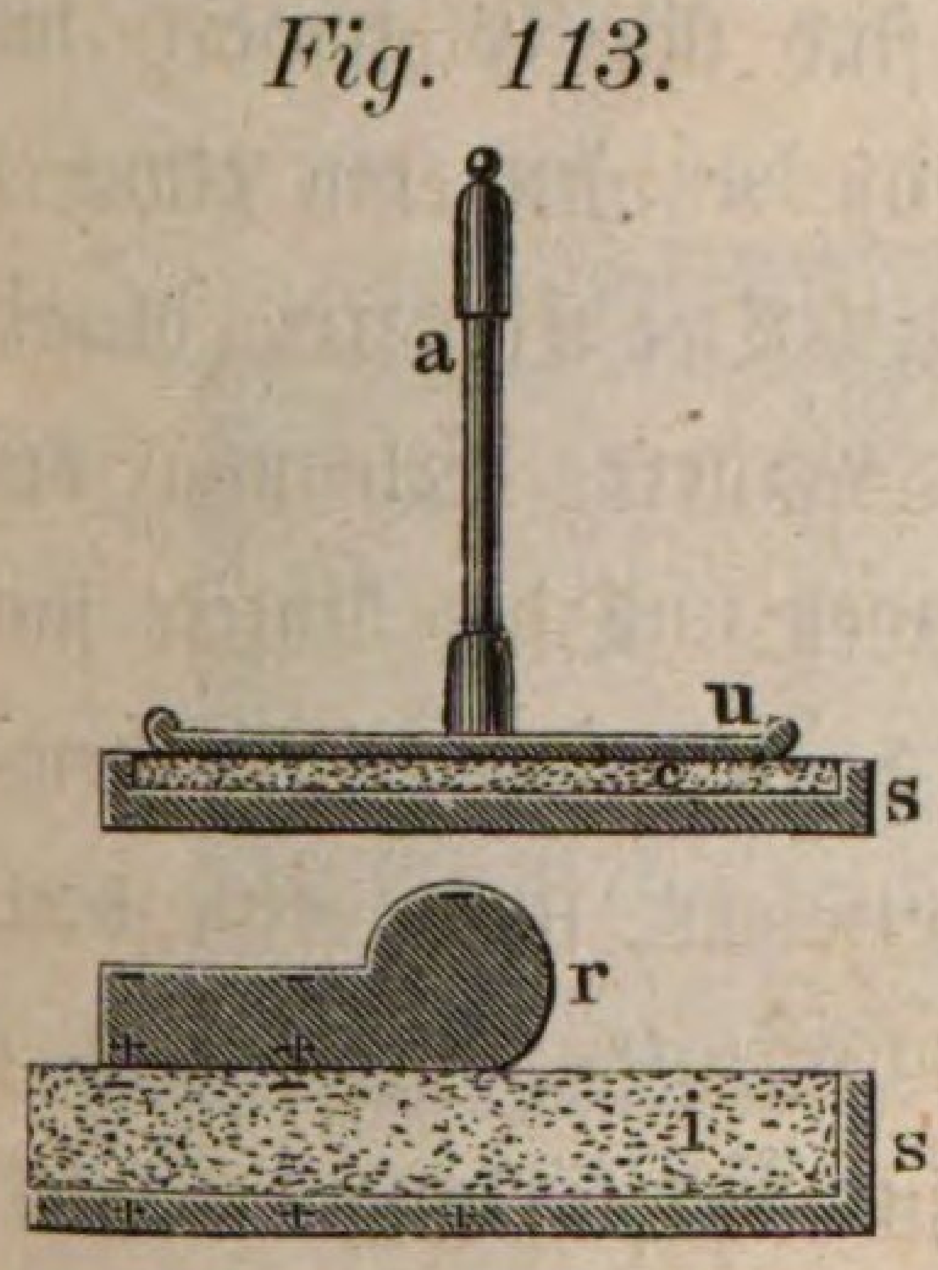
Zwischen das durch den Glasfuß h getragene gabelförmige Holzgestell wird das Reibzeug eingeschoben und an diesem Holz-

Fig. 112.



gestell ist ein Messingstreifen angebracht, welcher die Elektricität nach o überführt.

Fig. 113.



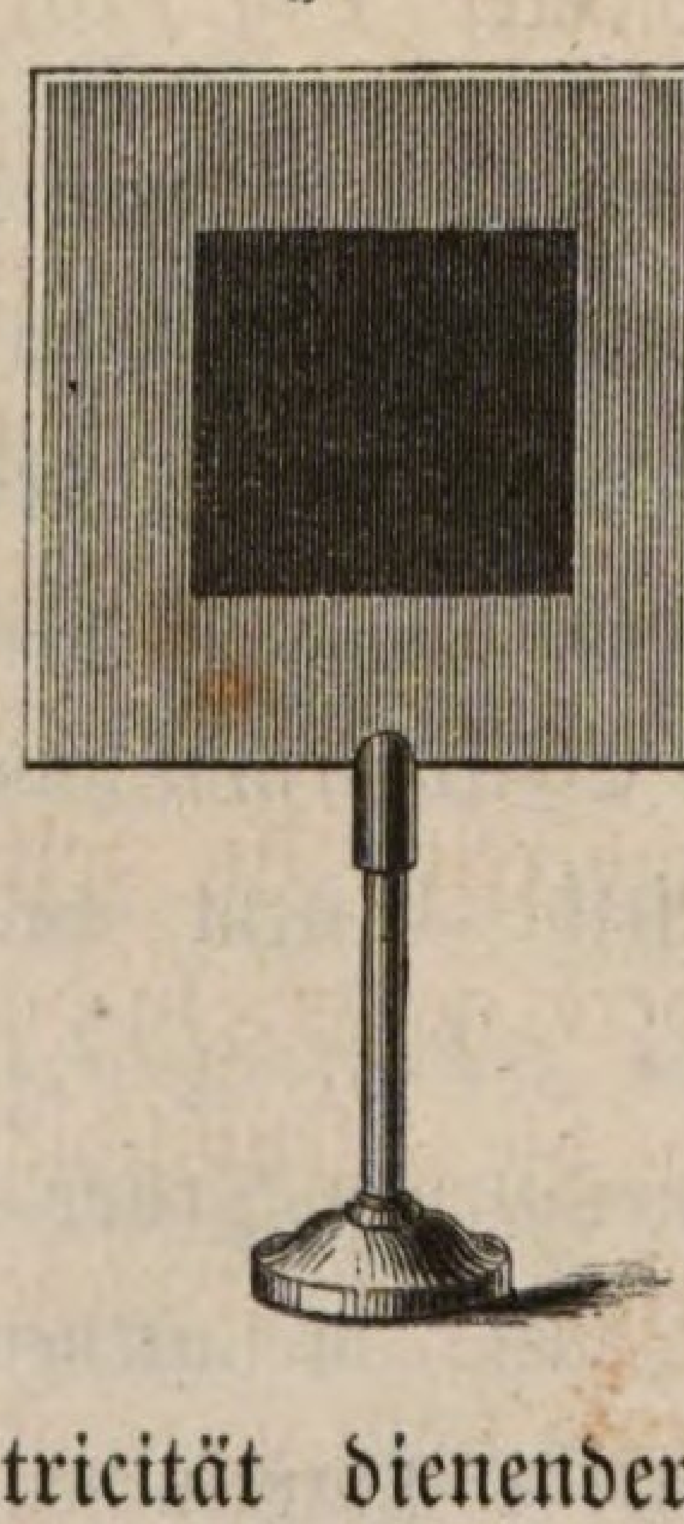
Das Elektrophor ist ebenfalls ein sehr wichtiger, elektrischer Apparat, welcher die Vertheilung der Elektricitäten sehr deutlich zeigt und in vielen Fällen die Elektrisirmaschine ersetzen kann. Derselbe besteht aus einem Harzkuchen i *(Fig. 113.)*, welcher auf einen metallenen Teller s gelegt ist, und einen metallenen Deckel u mit isolirter Handhabe. Auf diesem Harzkuchen, welcher zuvor durch Schlagen mit einem Fuchsschwanz oder einem

Katzenfell negativ elektrisch gemacht worden ist, setzt man den Deckel mit der isolirenden Handhabe. Die negative Elektricität des Harzkuchens wirkt nun vertheilend auf die bis dahin noch verbundenen Elektricitäten. Die positive Elektricität wird angezogen, die negative abgestoßen; die erstere wird sich deshalb im unteren und letztere im oberen Theile des Deckels befinden.

Die positive Elektricität ist aber bei Weitem nicht so entwickelt, wie die negative auf der oberen, weshalb sich positive Elektricität der unteren Fläche nicht nachweisen läßt, so lange negative Elektricität auf der andern nicht vollständig beschäftigt ist. Ein gutes Elektroskop wird hiervon überzeugen.

Mit Hülfe gewisser Apparate ist man im Stande, eine größere Menge Elektricität anzuhäufen, ohne daß durch die Stärke der Elektricität ein Nachtheil widerfährt. Die Elektricität wird gebunden, wenn die beiden Elektricitäten durch einen guten Isolator, z. B. durch Harz und Glas, getrennt sind. Ein solcher Apparat *(Fig. 114)* ist die Franklin'sche Tafel, welche zur Bindung der Elektricität vorzugsweise gut geeignet ist. Diese Tafel ist von Glas und in der Mitte soweit mit Stanniol beklebt, daß nur ein etwa 1 bis 2 Zoll breiter Theil frei bleibt. Wird nun die vordere Belegung der Tafel mit positiver und die hintere mit negativer geladen, so ziehen sich beide gegenseitig an und es findet eine vollständige Bindung Statt.

Fig. 114.



Ein anderer zur Verstärkung der Elektricität dienender Apparat ist die sogenannte Leydener Flasche. Dieselbe besteht aus einem Glasgefäß *(Fig. 115.)*, welches außen

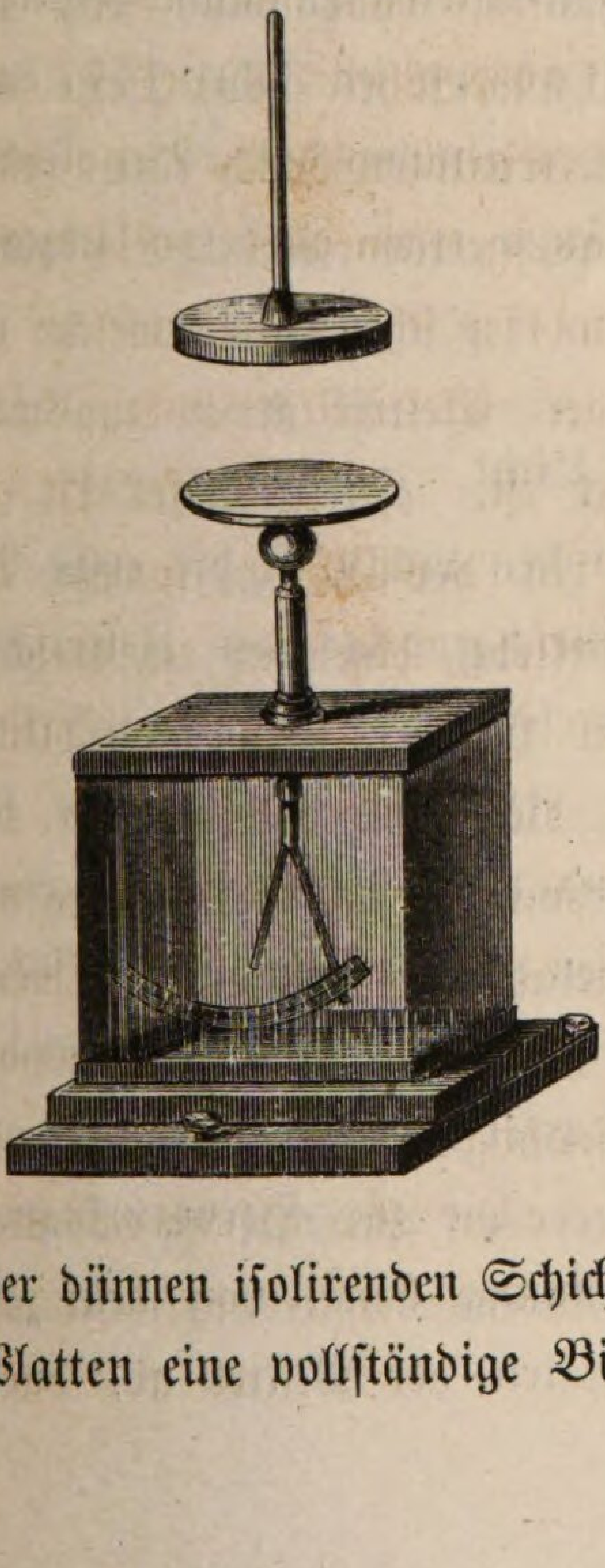
Fig. 115.



mit Stanniol überklebt ist, so daß am Rande einige Zoll frei bleiben; im Innern ist das Gefäß ebenfalls mit einer Belegung versehen oder mit Schrotkörnern oder Eisenfeile angefüllt. Die innere Belegung ist mit einem Messingstab verbunden, welche durch den Deckel des Gefäßes hindurchgeht.

Soll die Flasche geladen werden, so bringt man die äußere Belegung mit dem Boden, den Messingstab mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine in leitende Verbindung. Um recht starke Ladungen hervorzubringen, verbindet man mehre Flaschen mit einander zu einer sogenannten elektrischen Batterie.

Fig. 116.



Apparate, welche dazu dienen, Elektricität von sehr geringer Spannung durch Verdichtung bemerkbar zu machen, nennt man Condensatoren. Einer der vollkommensten ist der mit dem Goldblatt-Elektrometer in Verbindung gebrachte. Auf einen Goldblatt-Elektrometer *(Fig. 116.)* wird eine oben abgeschliffene und mit einer dünnen Schicht von Firniß versehene Platte aufgeschraubt. Eine zweite mit einem isolirenden Stiel versehene Platte, welche auf dieselbe Weise zubereitet ist, wird nun auf die andere gesetzt, so daß beide nur durch die Firnißschicht getrennt sind. Auch hier ist wegen der dünnen isolirenden Schicht und der einander so nahe gelegenen Platten eine vollständige Bindung möglich.

Ist dem Condensator Elektricität zugeführt, so wird die bis dahin gebundene Elektricität der unteren Platte frei und bewirkt eine Divergenz der Goldblättchen.

Lichtenberg'sche Figuren.

Um einen charakteristischen Zug der beiden Elektricitäten anzudeuten, läßt sich recht schön folgender Versuch anstellen. Man elektrisirt einige Stellen eines Harzkuchens positiv, andere negativ, indem man denselben an einigen Stellen mit dem Knopfe einer positiv geladenen, an andern mit dem Knopfe einer negativ geladenen Flasche berührt, und dann den Harzkuchen aus einiger Entfernung mit einem feinen Pulver, z. B. Hexenmehl (Bärlappmehl) überpudert; es entstehen dann an den positiv elektrisirten Stellen strahlige, an den negativ elektrisirten rundliche Figuren, welche man, da sie zuerst von Lichtenberg im Jahre 1777 dargestellt worden, Lichtenberg'sche Figuren genannt hat. Bei gleicher Stärke der Ladung hat die positive Figur einen größeren Umfang, als die negative.

Elektrisches Licht.

Für die Erscheinung des elektrischen Lichts ist die erste Bedingung, daß eine Störung des Gleichgewichts der elektrischen Flüssigkeiten stattfindet. Außerdem ist aber noch erforderlich, daß die Spannung, welche das elektrische Ausströmen bedingt, hinlänglich groß sei. Während z. B. die Elekricität einer weniger kräftigen Maschine durch einen Metalldraht in den Boden überströmen kann, ohne daß man ein Leuchten im Dunkel wahrnimmt, sieht man bei Anwendung starker Maschinen den Draht mit einem hellen Scheine umgeben. Die zur Hervorbringung des elektrischen Lichts nöthige Spannung hängt von dem Zustande der Gestalt und der Leitfähigkeit der Mittel ab, durch

welche sich die Elektricität bewegen muß. Mitunter geben ganz schwache Spannungen ein helles Licht, in andern Fällen reichen wieder starke Spannungen nicht hin, den geringsten Lichtschein zu geben. In eckigen Körpern und auch spitzen strömt die Elektricität von selbst und ohne Spannung aus, und man beobachtet dabei im Dunkeln glänzende Lichtbüschel, die oft mehre Zoll lang sind. — Mit Metallperlen, die in ziemlicher Entfernung von einander auf einen seidenen Faden aufgereiht sind, lassen sich Namenzüge und allerlei Figuren bilden, welche so lange leuchten, als man die Maschine dreht, von deren Conductor die Elektricität durch diese Kette in den Boden strömt.

Ist eine an beiden Enden mit Metallfassungen versehene mehre Fuß lange Glasröhre luftleer gemacht, und setzt man dann das eine Ende mit dem Conductor der Maschine, das andere mit dem Boden in Verbindung, so sieht man im Innern derselben ein lebhaftes Leuchten. Da die Elektricität in der verdünnten Luft nur einen schwachen Widerstand findet, breitet sie sich in der ganzen Röhre aus und bezeichnet den Weg, den sie zurücklegt, durch Feuerstreifen.

Glänzender als alle diese Erscheinungen ist jedoch das blendende Licht, welches mit Hülfe der galvanischen Säulen erzeugt wird (s. weiter unten).

Außer durch Reibung läßt sich auch Elektricität durch Druck und Wärme erzeugen. Setzt man z. B. eine Metallplatte auf ein Stück Wachstaffent und hebt sie an einem isolirenden Handgriff auf, nachdem man etwas gedrückt hat, so findet man, daß die Metallscheibe negativ, der Taffent positiv elektrisch geworden ist. Ebenso hat man dargethan, daß auch viele Mineralien durch Druck elektrisch werden. Erwärmt man ferner z. B. einen Tormalinkrystall, so wird derselbe dadurch elektrisch.

Galvanismus.

(Elektricität durch Berührung oder Contactelektricität.)

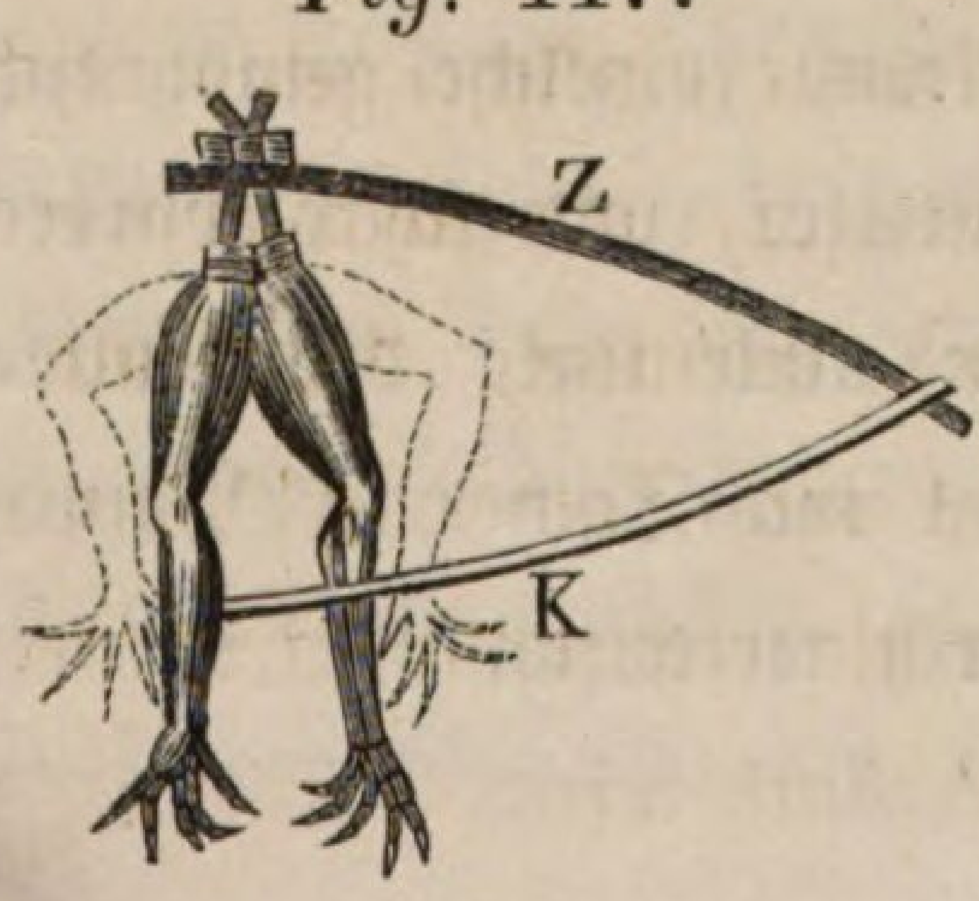
Durch die Berührung zweier Metalle unter gewissen Einflüssen erkannte man eine mächtige Quelle für elektrische Kraft, und diese Entdeckung bildete eine neue Epoche für die Elektricitätslehre.

Die erste Veranlassung zur Entdeckung der Contact-Elektricität gab zu Ende des vorigen Jahrhunderts ein berühmter Arzt in Bologna, Galvani, indem er ganz zufällig bemerkte, daß präparirte Froschschenkel, welche an einem eisernen Halter aufgehängt waren, in Zuckungen geriethen, sobald sie mit dem Eisen in Berührung kamen. Er verfiel sehr bald auf die Idee, daß hier Elektricität die Ursache dieser Zuckungen sein müsse, da er ähnliche Zuckungen schon früher wahrgenommen hatte, als er Maschinen-Elektricität durch die Nerven eines eben getödteten Frosches hindurchgehen ließ.

Galvani's Entdeckung verbreitete sich sehr schnell, und weil sie so großes Aufsehen erregte, nannte man seine Ansicht, daß nämlich der thierische Körper die Quelle dieser Elektricität sei, Galvanismus.

Durch die vielen Bemühungen sämmtlicher Gelehrten, über diese Entdeckung mehr Licht zu erhalten, gelang es Alexander Volta, nach genauen Beobachtungen zu beweisen, daß die Elektricität von der Berührung zweier Metalle herrühre, wozu die Nerven des Frosches als directe Leiter dienen.

Fig. 117.



Volta stellte nämlich den Versuch an, daß er einen Leitungsbogen von Zink und ebenfalls einen von Kupfer mit einander verband, und beide mit den Froschschenkeln in Berührung brachte *(Fig. 117.)*, wobei vor allen Dingen nothwendig ist,

daß diese Metallstreifen an ihrem Berührungspunkte eine vollkommene metallische Oberfläche haben. Volta schloß aus seinen Versuchen, daß die hier wirkende Flüssigkeit weder in den Nerven, noch in den Muskeln des Frosches, sondern durch die Berührung beider Metalle entwickelt werde, und daß sie dem gewöhnlichen elektrischen Fluidum vollkommen gleiche.

Volta bewies dies durch das Goldblatt-Elektrometer mit aufgeschraubtem Condensator, indem die Berührung desselben mit Zink einen merklichen Einfluß auf die Goldblättchen hervorbrachte. Noch mehr bestätigte Volta die Elektricitätserregung durch Berührung dadurch, daß er zwei Metallplatten, die eine von Zink, die andere von Kupfer, zusammenlöthete. Wird nämlich das Zinkende in die Hand genommen, so daß die untere Platte mit dem Kupfer in Berührung kommt und die obere Platte mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt wird, so werden die Goldblättchen ebenfalls auseinander gehen. Die hier an den Berührungsstellen dieser beiden verschiedenen Metallkörper wirkende Kraft hat den Namen elektromotorische Kraft erhalten, da Volta die Metalle selbst Elektromotoren nannte. Durch weitere Verfolgung seiner Versuche kam Volta, indem er nun sicher schloß, daß die Elektricität von der Berührung der Metalle herkomme, zur Construction der elektrischen Säule, durch deren genaueres Studium höchst merkwürdige Erscheinungen hervorgerufen wurden.

Eine solche Säule verlangt zu ihrer Zusammensetzung drei verschiedene Elemente und zwar zwei Metalle und einen sogenannten feuchten Leiter. Die beiden Metalle, welche gewöhnlich dazu verwendet werden, sind Zink und Kupfer, und zwar ersteres als positives und letzteres als negatives Element; der feuchte Leiter dagegen besteht aus einer Scheibe von Tuch oder Pappe, welche mit der Lösung eines Alkali's oder einer verdünnten Säure, oder auch wohl einer Kochsalzlösung getränkt wird. *Fig. 118*

Galvanismus.

(Elektricität durch Berührung oder Contactelektricität.)

Durch die Berührung zweier Metalle unter gewissen Einflüssen erkannte man eine mächtige Quelle für elektrische Kraft, und diese Entdeckung bildete eine neue Epoche für die Elektricitätslehre.

Die erste Veranlassung zur Entdeckung der Contact-Elektricität gab zu Ende des vorigen Jahrhunderts ein berühmter Arzt in Bologna, Galvani, indem er ganz zufällig bemerkte, daß präparirte Froschschenkel, welche an einem eisernen Halter aufgehängt waren, in Zuckungen geriethen, sobald sie mit dem Eisen in Berührung kamen. Er verfiel sehr bald auf die Idee, daß hier Elektricität die Ursache dieser Zuckungen sein müsse, da er ähnliche Zuckungen schon früher wahrgenommen hatte, als er Maschinen-Elektricität durch die Nerven eines eben getödteten Frosches hindurchgehen ließ.

Galvani's Entdeckung verbreitete sich sehr schnell, und weil sie so großes Aufsehen erregte, nannte man seine Ansicht, daß nämlich der thierische Körper die Quelle dieser Elektricität sei, Galvanismus.

Durch die vielen Bemühungen sämmtlicher Gelehrten, über diese Entdeckung mehr Licht zu erhalten, gelang es Alexander Volta, nach genauen Beobachtungen zu beweisen, daß die Elektricität von der Berührung zweier Metalle herrühre, wozu die Nerven des Frosches als directe Leiter dienen.

Fig. 117.



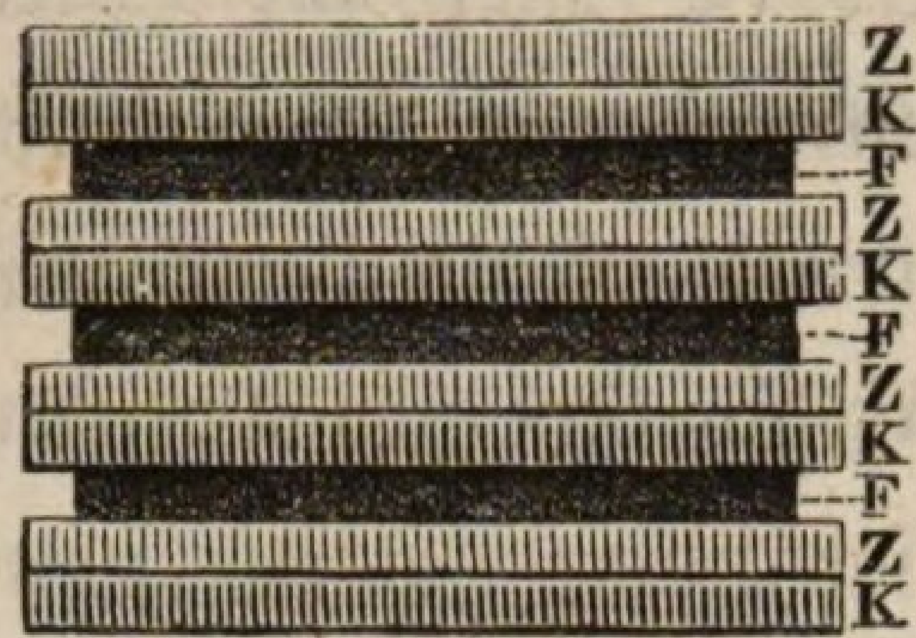
Volta stellte nämlich den Versuch an, daß er einen Leitungsbogen von Zink und ebenfalls einen von Kupfer mit einander verband, und beide mit den Froschschenkeln in Berührung brachte *(Fig. 117.)*, wobei vor allen Dingen nothwendig ist,

daß diese Metallstreifen an ihrem Berührungspunkte eine vollkommene metallische Oberfläche haben. Volta schloß aus seinen Versuchen, daß die hier wirkende Flüssigkeit weder in den Nerven, noch in den Muskeln des Frosches, sondern durch die Berührung beider Metalle entwickelt werde, und daß sie dem gewöhnlichen elektrischen Fluidum vollkommen gleiche.

Volta bewies dies durch das Goldblatt-Elektrometer mit aufgeschraubtem Condensator, indem die Berührung desselben mit Zink einen merklichen Einfluß auf die Goldblättchen hervorbrachte. Noch mehr bestätigte Volta die Elektricitätserregung durch Berührung dadurch, daß er zwei Metallplatten, die eine von Zink, die andere von Kupfer, zusammenlöthete. Wird nämlich das Zinkende in die Hand genommen, so daß die untere Platte mit dem Kupfer in Berührung kommt und die obere Platte mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt wird, so werden die Goldblättchen ebenfalls auseinander gehen. Die hier an den Berührungsstellen dieser beiden verschiedenen Metallkörper wirkende Kraft hat den Namen elektromotorische Kraft erhalten, da Volta die Metalle selbst Elektromotoren nannte. Durch weitere Verfolgung seiner Versuche kam Volta, indem er nun sicher schloß, daß die Elektricität von der Berührung der Metalle herkomme, zur Construction der elektrischen Säule, durch deren genaueres Studium höchst merkwürdige Erscheinungen hervorgerufen wurden.

Eine solche Säule verlangt zu ihrer Zusammensetzung drei verschiedene Elemente und zwar zwei Metalle und einen sogenannten feuchten Leiter. Die beiden Metalle, welche gewöhnlich dazu verwendet werden, sind Zink und Kupfer, und zwar ersteres als positives und letzteres als negatives Element; der feuchte Leiter dagegen besteht aus einer Scheibe von Tuch oder Pappe, welche mit der Lösung eines Alkali's oder einer verdünnten Säure, oder auch wohl einer Kochsalzlösung getränkt wird. *Fig. 118*

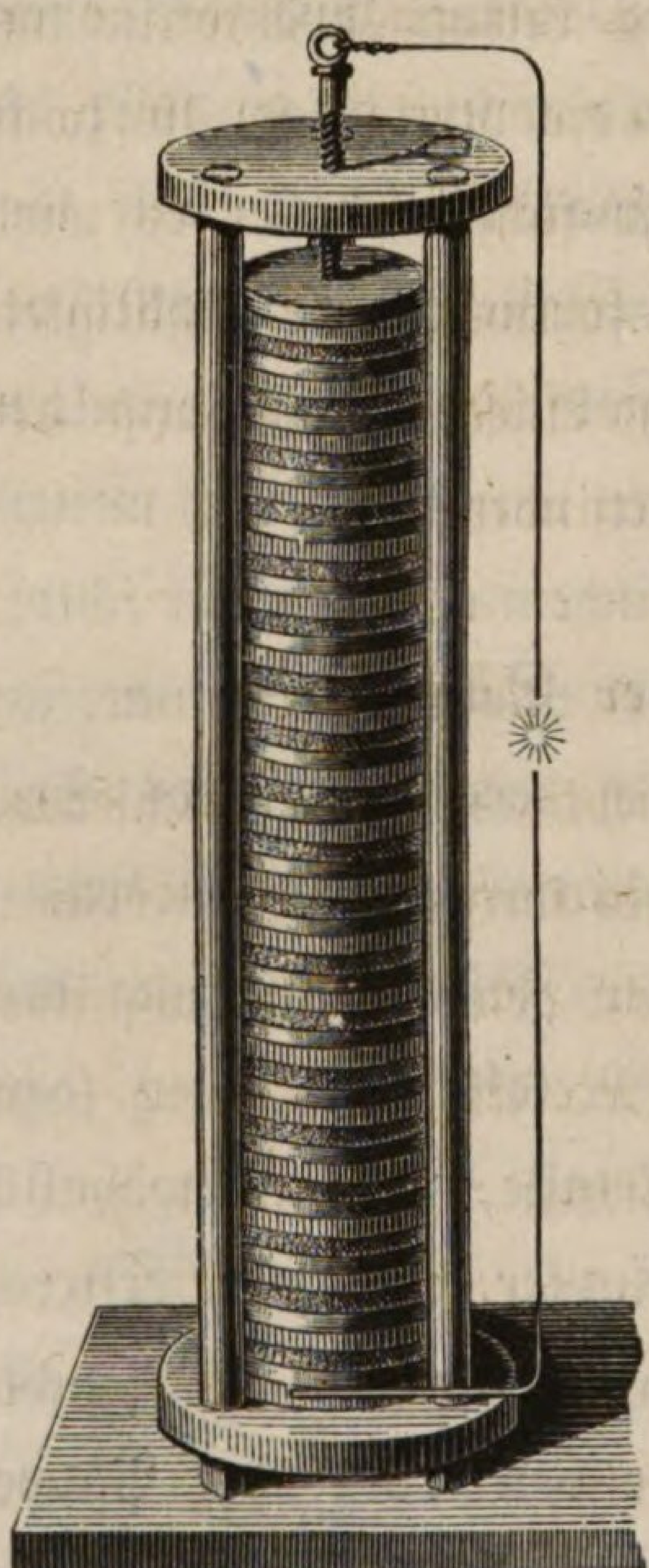
Fig. 118.



zeigt, in welcher Anordnung diese Elemente auf einander folgen. Z bedeutet eine Platte von Zink, K eine Platte von Kupfer und F eine gleichförmige Scheibe von Tuch oder Pappe mit einer der oben genannten Lösungen getränkt; die drei Elemente zusammen bilden ein sogenanntes Paar; je größer die Anzahl solcher Paare ist, welche man zusammenlegt, desto stärker sind die elektrischen Wirkungen.

Werden etwa zwanzig bis hundert solcher Paare zusammengelegt, so erhält man eine Anordnung, welche nach dem Erfinder die Volta'sche Säule genannt wird. *Fig. 119* zeigt eine

Fig. 119.



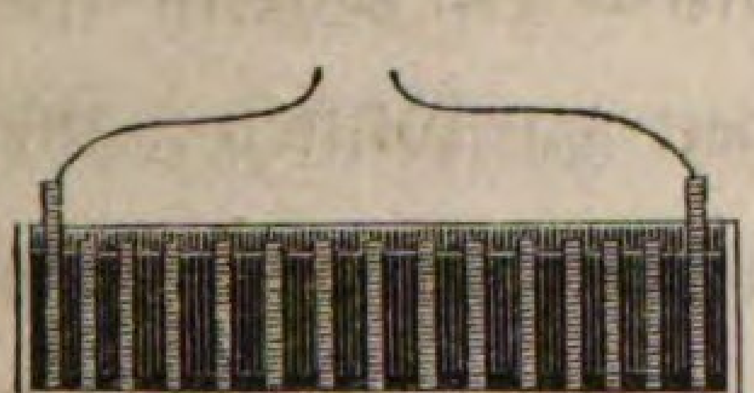
solche aus zwanzig Paaren bestehende Säule, deren Fußgestell von Holz und deren Seitenstäbe aus Glas verfertigt sind. Das eine Ende der Säule, welches mit einer Zinkplatte endet, pflegt das Zinkende oder der positive Pol, das andere, welches mit einer Kupferplatte endigt, das Kupferende oder der negative Pol genannt zu werden; setzt man nun diese so angeordneten Systeme mit dem Boden in leitende Verbindung, so wird eine Vertheilung der Elektricität stattfinden und zwar wird das Zink positiv und das Kupfer negativ elektrisch, wobei aber freie positive Elektricität auf dem Zink bleibt und die negative Elektricität des Kupfers in den Boden überströmt. Wenn man nun dem Zink einen Theil seiner freien Elektri-

cität entzieht, so wird dieser Verlust, welcher dem Zink an positiver Elektricität zu Theil wird, durch die elektromotorische Kraft ersetzt werden, während eine dieser neu entwickelten Elektricität gleiche Menge negativer Elektricität auf die Kupferplatten und von diesen auf den Boden übergeht, so daß eine fortwährende Thätigkeit der elektromotorischen Kraft stattfindet, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man den Condensator zu Hülfe nimmt; denn die freien Elektricitäten theilen sich dem ihnen nahe liegenden Systeme mit, und pflanzen sich so bis an die Pole fort, wodurch dann eine fortgesetzte Bewegung entsteht, welche man den elektrischen Strom nennt. Ist die Säule ohne Ableitung, so wird, wenn man die beiden Leitungsdrähte bis auf eine kleine Entfernung nähert, ein ununterbrochener Funkenstrom stattfinden, bringt man aber die beiden Leitungsdrähte in unmittelbare Berührung oder schließt man die Kette, so ist zwar das Ueberspringen der Funken nicht mehr sichtbar, aber es wird in alle Theile der Schließung eine fortwährende Thätigkeit treten, durch welche das Streben nach Wiedervereinigung der beiden entgegengesetzten Elektricitäten stattfindet.

Andere Formen elektrischer Säulen.

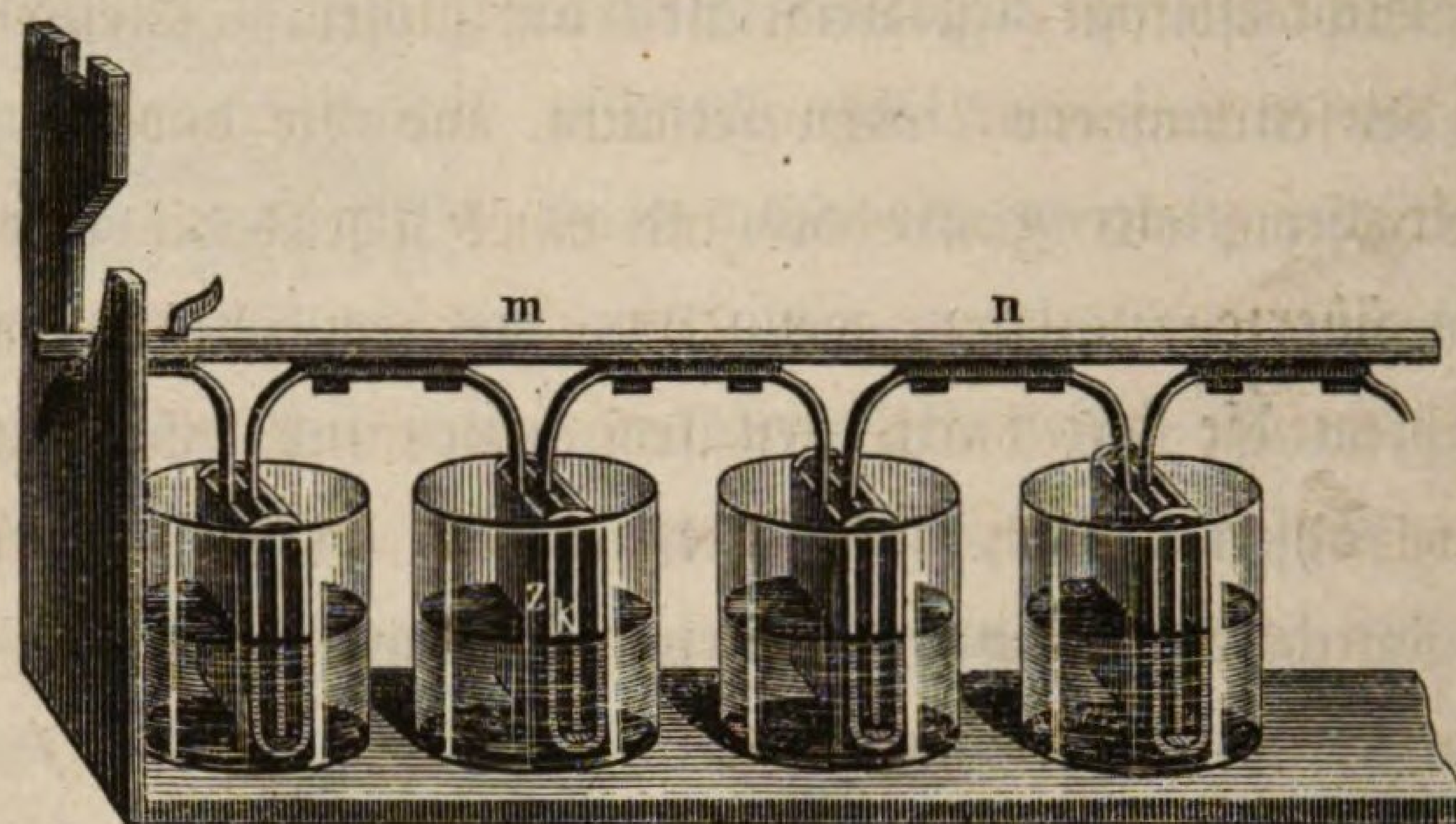
Außer der Volta'schen Säule giebt es noch verschiedene andere Formen, welche zur Erzeugung eines fortgesetzten elektrischen Stromes dienen, obgleich sie sämmtlich gewöhnlich aus zwei Metallen und einer Flüssigkeit hergestellt sind. Eine der älteren Formen ist z. B. der sogenannte Trogapparat *(Fig. 120.)*, dessen Elemente aus zusammengelötheten Zink- und Kupferplatten bestehen, welche in einen Kasten von Holz, der im Innern mit einer Harzschicht überzogen und mit angesäuertem Wasser angefüllt ist, eintaucht.

Fig. 120.



Eine andere zu erwähnende Form ist die in *(Fig. 121.)* abgebildete sogenannte Wollaston'sche Batterie, deren Ein-

Fig. 121.



richtung sehr einfach ist, denn die sämmtlichen Kupfer- und Zinkplattenpaare sind an einer Leiste m n befestigt, so daß man sie nach Belieben in die Flüssigkeit eintauchen und wieder herausheben kann.

Unter den gegenwärtig gebräuchlichsten Apparaten ist unter Anderen namentlich die constante Kette von Daniel zu erwähnen. Sie besteht in ihren einzelnen Theilen aus einem Cylinder *(Fig. 122.)* von Kupfer, einem porösen Thoncylinder t o t und einem amalgamirten Zinkstreifen z, welcher sich in dem Thoncylinder befindet. Letzterer ist mit verdünnter Schwefelsäure angefüllt und der Kupfercylinder enthält eine Lösung von Kupfervitriol (schwefelsaurem Kupferoxyd) in Wasser. Es sind also diese beiden Flüssigkeiten durch eine Scheidewand, nämlich durch die Thonmasse, getrennt, um sich nicht mischen zu können; ihre gegenseitige Berührung findet aber dennoch durch die Porösität der Thonmasse in entsprechendem Grade statt, so daß während der Circulation des Stromes (bei geschlossener Kette) die in

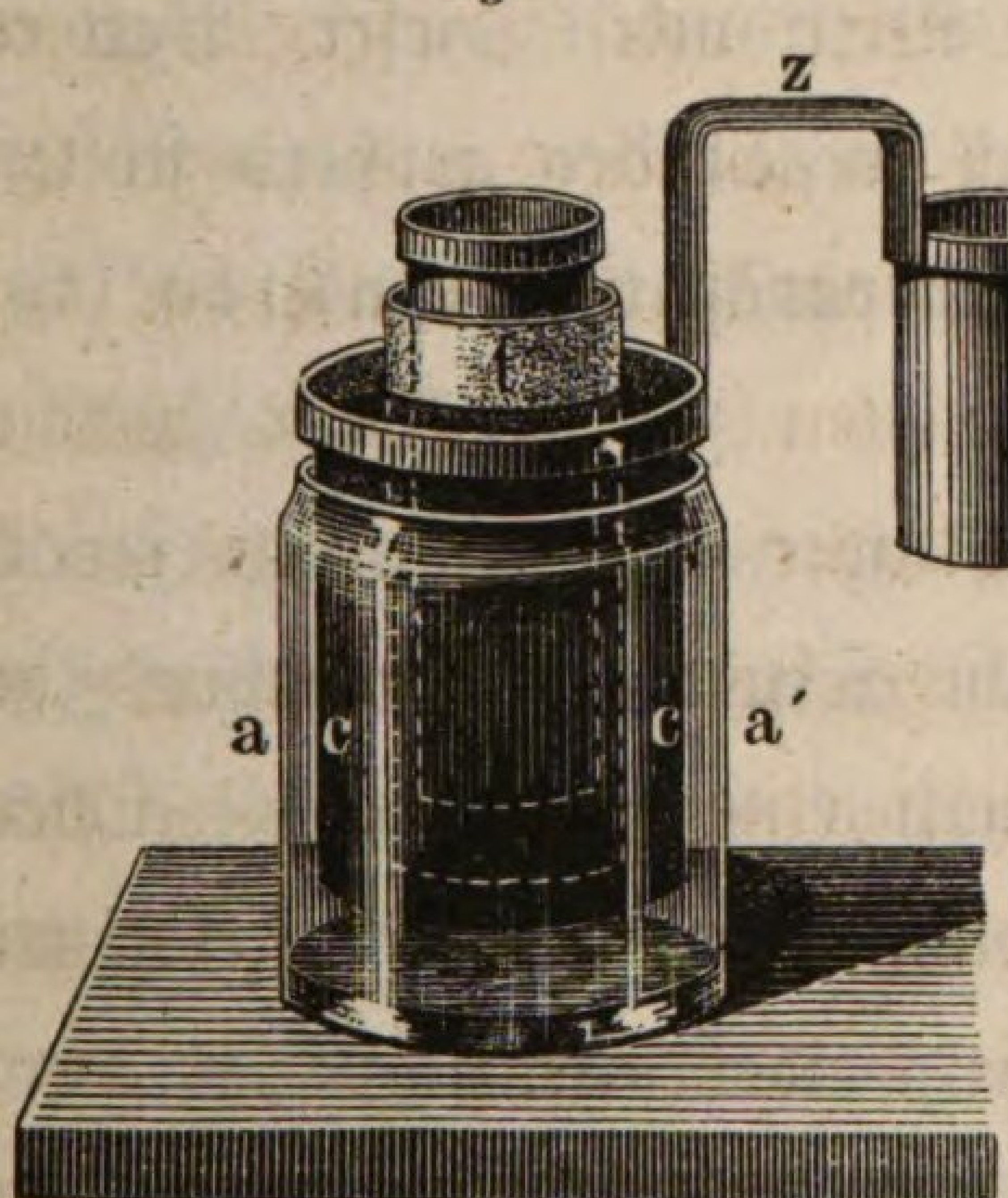
Fig. 122.



Folge des sich abscheidenden metallischen Kupfers freigewordene Schwefelsäure endosmotisch durch den Thoncylinder dringen kann, um neugebildetes Zinkoxyd, nachdem die in dem Cylinder befindliche Schwefelsäure gesättigt ist, aufzulösen. Dieses Durchdringen der entbundenen Schwefelsäure und die dadurch hervorgerufene Lösung des Zinkoxyds sind eines Theils die Bedingnisse für die constante Wirkung der Kette; andern Theils aber trägt auch namentlich das durch den frei gewordenen Sauerstoff des Kupferoxyds und durch die Wirkung des Stromes entbundene Wasser dazu bei, indem dasselbe wieder einen Theil des in dem Säckchen c befindlichen Kupfervitriols auflöst.

Vorzugsweise ist aber die Zink-Kohlenbatterie von Bunsen zu empfehlen, da sie eine kräftige Wirkung zeigt und mit geringen Kosten hergestellt werden kann. Die Construction dieser Batterie besteht darin, daß man einen hohlen Cylinder *(Fig. 123.)* c c, aus Kohle und Sand geformt, in ein Glasgefäß a a stellt, und in dasselbe fest hineinpaßt. In die Höhlung des Kohlencylinders wird ein hohler, unten verschlossener Thoncylinder t gebracht, und zwar von der Größe, daß nur ein kleiner Zwischenraum zwischen beiden Cylindern bleibt. Die Thonzelle wird mit verdünnter Schwefelsäure und das Glas mit Salpetersäure gefüllt. Auf dem oberen Ende des Kohlencylinders befindet sich ein Ring von Zink mit einem Zinkbügel z, der den Kohlencylinder mit einem hohlen Zinkcylinder y verbindet, welcher in die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle des folgenden Glases

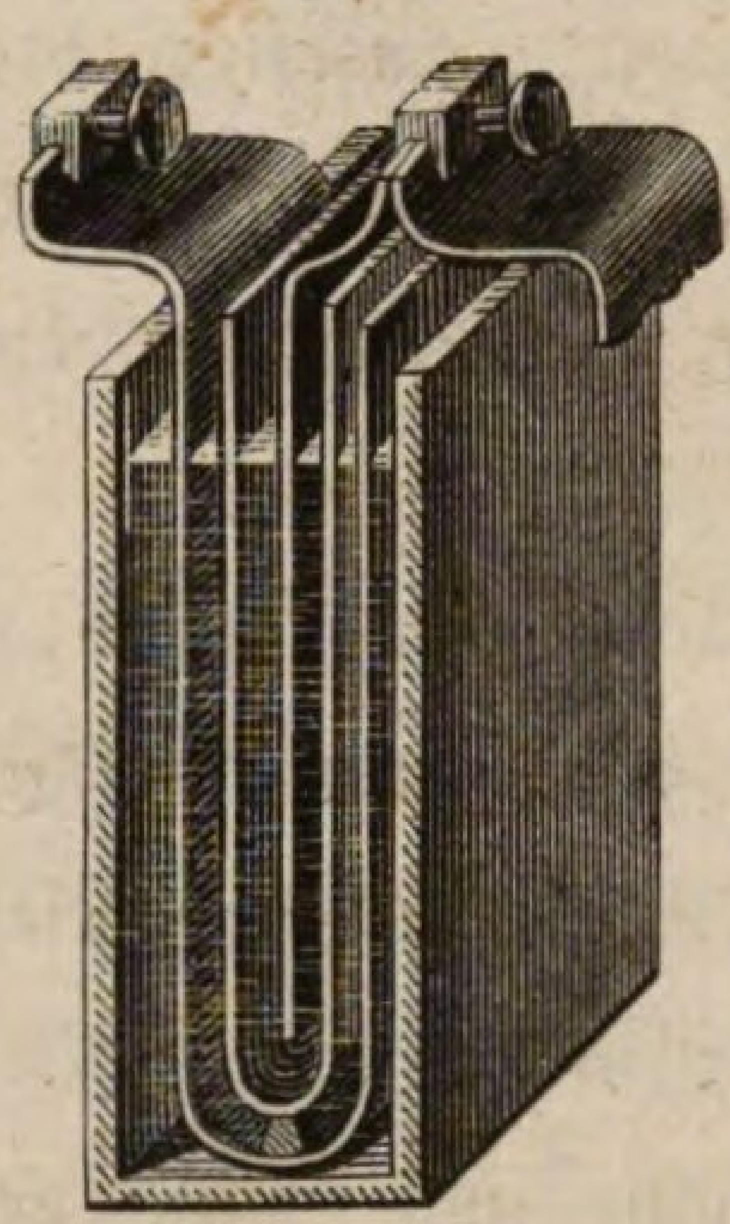
Fig. 123.



hineinhängt. Gewöhnlich vereinigt man 4 bis 6 oder auch mehrere dieser hier beschriebenen Elemente mit einander.

Eine andere sehr interessante galvanische Kette von ganz vortrefflicher Wirksamkeit ist die Grove'sche Batterie, deren Elemente aus Zink und Platina hergestellt sind. Durch Zusammensetzung solcher Elemente erhält man die in *Fig. 124.* abgebildete Gestalt. Ein Porzellankasten ist durch mehre Scheidewände in Zellen eingetheilt, in denen sich umgebogene Zinkplatten befinden, die wieder Thonzellen mit Platinblechen enthalten. Die Zinkzellen werden mit verdünnter Schwefelsäure und die Platinzellen mit reiner Salpetersäure gefüllt.

Fig. 124.



Will man nun die elektrische Erscheinung weiter leiten, so braucht man nur an die Platinzelle und an den Zinkpol Drähte zu schrauben. Obgleich die kräftige Wirksamkeit dieser Batterie nicht zu leugnen ist, so steht sie doch wegen des größern Kostenaufwandes für den gewöhnlichen Gebrauch der Bunsen'schen Batterie bedeutend nach.

Eine andere neben der Daniel'schen für technische Zwecke vielfach benutzte Batterie ist die von Smee, bei welcher Zink und Silber als Elemente benutzt werden, indem man die Oberflächen des letztern dadurch rauh macht, daß man dasselbe mit einer Lage von fein vertheiltem Platin überzieht.

Der elektrische Zustand, welcher durch Berührung der Metallkörper erzeugt wird, hängt hauptsächlich von der Wahl der Stoffe ab, welche man in Berührung bringt. Aus dem oben Gesagten geht hervor, daß Kupfer in Berührung mit Zink negativ elektrisch wird, während es in Berührung mit Platin positive Elektricität annimmt; dagegen wird Zink in Berührung

mit Platin stärker positiv elektrisch, als in Berührung mit Kupfer. Hieraus folgt, daß die elektrische Spannung, welche durch die elektromotorische Kraft der Metallkörper hervorgerufen wird, sehr verschieden ist, oder die Differenz ist, je nach der Wahl der Stoffe eine andere, entweder schwächer oder stärker. Man hat daher eine Spannungsreihe aufgefunden, wie sie folgende Ordnung angiebt.

+
Zink,
Blei,
Zinn,
Eisen,
Kupfer,
Silber,
Gold,
Platin,
Kohle.
—

In dieser Spannungsreihe wird jeder vorangehende Körper in Berührung mit allen folgenden positiv elektrisch. Die Spannungsreihe hat nämlich insofern Bedeutung, da man gefunden hat, daß die elektromotorische Thätigkeit um so mehr geweckt wird, je weiter die Elektromotoren in der Spannungsreihe von einander entfernt sind. Daher kommt es, daß Zink und Platin eine so kräftige Wirksamkeit zeigen, und der Wahl von Zink und Kupfer vorzuziehen sein würden, wenn letzterer nicht ein billigerer Elektricitätserreger wäre, als Platin. Obgleich man, wie wir gesehen haben, auch gern Kupfer und Zink nimmt, da sie, wenn auch nicht so weit als jene, doch schon ziemlich weit von einander in der Spannungsreihe entfernt sind.

Vergleicht man nun die hier besprochene Elektricität mit

derjenigen, welche durch die Elektrisirmaschine erzeugt wird, so müssen wir uns gestehen, daß die galvanische und Maschinen-elektricität sich durchaus nicht von einander unterscheiden, nur ist die Elektricität des Galvanismus fortwährend in Bewegung, während die der Maschine sich in Ruhe befindet.

Fragen wir uns ferner, wovon die Kraft des galvanischen Stroms abhängt, und welche Umstände darauf einwirken, so müssen, wie wir gesehen haben, vor Allem zwei Elektricitäts-erreger der Spannungsreihe mit einander in Verbindung gebracht werden, wozu dann noch Flüssigkeiten gehören. Diese bieten aber, da sie bekanntlich schlechte Leiter sind, einen gewissen Widerstand, welcher von der Spannung überwunden werden muß; mithin wird auch bei einer größern Anzahl von Plattenpaaren der Widerstand größer sein. Daher kommt es, daß, wenn die Kette vollkommen geschlossen ist, die Vermehrung der Plattenpaare nichts zur Vermehrung der circulirenden Elektricität beiträgt; bei unvollkommener Schließung aber tritt eine größere Spannung ein, wenn man mehrere Plattenpaare anwendet.

Gehen wir nun tiefer ein, so wird uns die Frage nicht fern liegen, ob die Erregung der Elektricität als eine Folge der Berührung der verschiedenen Metallkörper zu betrachten ist, oder ob eine wirkliche chemische Thätigkeit vorausgeht, welche von der Zersetzung des flüssigen Leiters herrührt.

Die erstere Ansicht nimmt eine chemische Thätigkeit nicht als Ursache an, auch nicht einmal, daß dieselbe, wenn auch eine gewöhnliche, doch nicht nothwendige Begleiterin des elektrischen Stromes sei, während die letztere, gewöhnlich chemisch-elektrische Theorie genannt, die galvanischen Erscheinungen als Folge eines chemischen Processes betrachtet. Beide Ansichten haben bis heute ihre Gegner und ihre Vertheidiger, aber wenn auch die chemisch-elektrische Theorie vor der eigentlichen Berührungstheorie viel-

fachen Eingang gefunden hat, so ist ihr doch der Vorwurf zu machen, daß sie den eigentlichen Volta'schen Grundversuch außer Augen läßt und keine Auskunft darüber giebt, wie die Spannung der Elektricität an den Polen der offenen Kette mit der Anzahl der Plattenpaare zunimmt, namentlich spricht aber der Umstand dagegen, daß man eine Reihe galvanischer Ketten schließen kann, bei denen vor ihrer Schließung keine Spur chemischer Zersetzung stattfindet, und dennoch ein Strom erzeugt wird. Auch frühere Anhänger dieser Theorie haben sich durch genaue Versuche überzeugt, daß die in dem feuchten Leiter auftretenden chemischen Erscheinungen nicht die Ursache, sondern die Wirkung des elektrischen Stromes seien.

Wirkungen des galvanischen Stroms.

Physikalische Wirkungen.

Die galvanischen Ströme bringen ähnliche Wirkungen wie die Reibungselektricität hervor. Befindet sich der galvanische Apparat in vollkommen isolirtem Zustande und bringt man den Zinkpol mit einem empfindlichen Elektrometer, z. B. mit einem Goldblatt-Elektrometer in leitende Verbindung, so gehen die Blättchen mit positiver Elektricität auseinander; dagegen trennen sie sich mit negativer Elektricität, wenn sie mit dem Kupferpol verbunden werden. Beide Elektricitäten nehmen von den Enden oder Polen nach der Mitte der Säule hin ab.

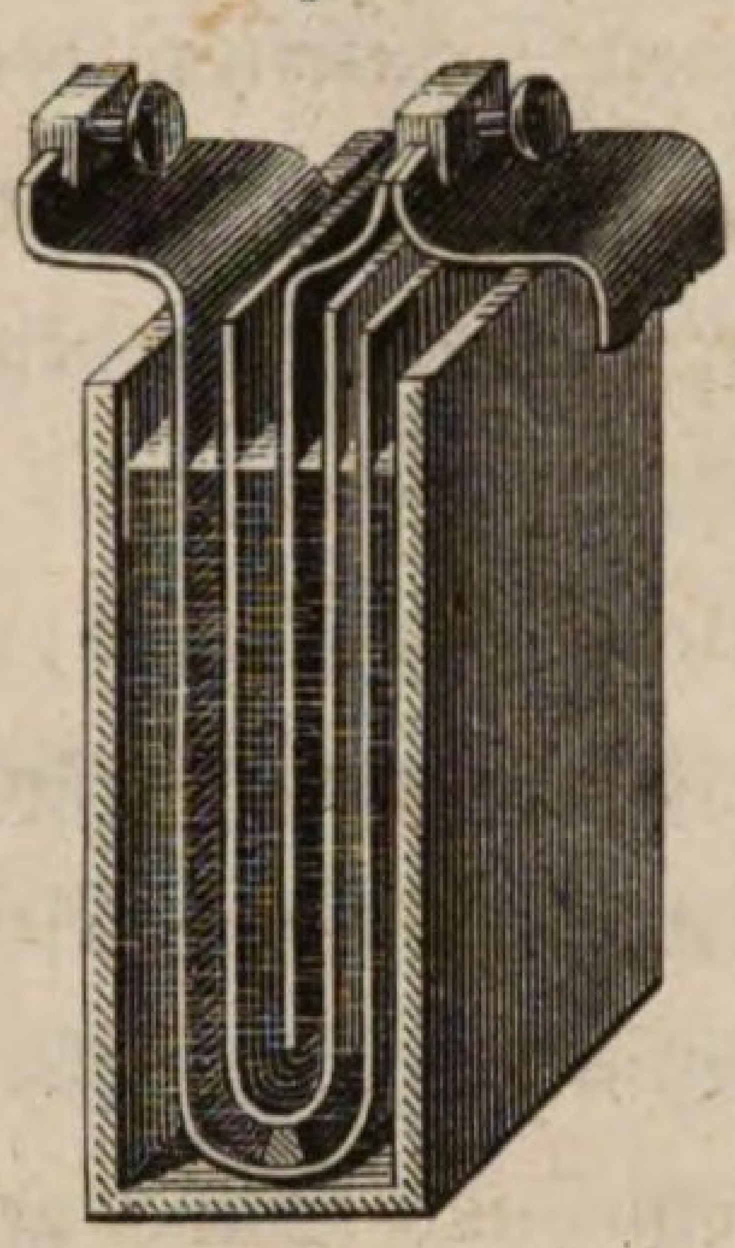
Verbindet man den einen Pol einer Volta'schen Säule mit der innern, den andern mit der äußern Belegung einer elektrischen Flasche oder Batterie, so ertheilt sie derselben fast augenblicklich eine schwache Lage, welche der elektrischen Spannung der beiden Pole der Säule entspricht, von der Größe der zu ladenden Batterie aber unabhängig ist.

Leitet man einen galvanischen Strom durch einen Metall-

hineinhängt. Gewöhnlich vereinigt man 4 bis 6 oder auch mehrere dieser hier beschriebenen Elemente mit einander.

Eine andere sehr interessante galvanische Kette von ganz vortrefflicher Wirksamkeit ist die Grove'sche Batterie, deren Elemente aus Zink und Platina hergestellt sind. Durch Zusammensetzung solcher Elemente erhält man die in *Fig. 124.* abgebildete Gestalt. Ein Porzellankasten ist durch mehre Scheidewände in Zellen eingetheilt, in denen sich umgebogene Zinkplatten befinden, die wieder Thonzellen mit Platinblechen enthalten. Die Zinkzellen werden mit verdünnter Schwefelsäure und die Platinzellen mit reiner Salpetersäure gefüllt.

Fig. 124.



Will man nun die elektrische Erscheinung weiter leiten, so braucht man nur an die Platinzelle und an den Zinkpol Drähte zu schrauben. Obgleich die kräftige Wirksamkeit dieser Batterie nicht zu leugnen ist, so steht sie doch wegen des größern Kostenaufwandes für den gewöhnlichen Gebrauch der Bunsen'schen Batterie bedeutend nach.

Eine andere neben der Daniel'schen für technische Zwecke vielfach benutzte Batterie ist die von Smee, bei welcher Zink und Silber als Elemente benutzt werden, indem man die Oberflächen des letztern dadurch rauh macht, daß man dasselbe mit einer Lage von fein vertheiltem Platin überzieht.

Der elektrische Zustand, welcher durch Berührung der Metallkörper erzeugt wird, hängt hauptsächlich von der Wahl der Stoffe ab, welche man in Berührung bringt. Aus dem oben Gesagten geht hervor, daß Kupfer in Berührung mit Zink negativ elektrisch wird, während es in Berührung mit Platin positive Elektricität annimmt; dagegen wird Zink in Berührung

mit Platin stärker positiv elektrisch, als in Berührung mit Kupfer. Hieraus folgt, daß die elektrische Spannung, welche durch die elektromotorische Kraft der Metallkörper hervorgerufen wird, sehr verschieden ist, oder die Differenz ist, je nach der Wahl der Stoffe eine andere, entweder schwächer oder stärker. Man hat daher eine Spannungsreihe aufgefunden, wie sie folgende Ordnung angiebt.

+
Zink,
Blei,
Zinn,
Eisen,
Kupfer,
Silber,
Gold,
Platin,
Kohle.
—

In dieser Spannungsreihe wird jeder vorangehende Körper in Berührung mit allen folgenden positiv elektrisch. Die Spannungsreihe hat nämlich insofern Bedeutung, da man gefunden hat, daß die elektromotorische Thätigkeit um so mehr geweckt wird, je weiter die Elektromotoren in der Spannungsreihe von einander entfernt sind. Daher kommt es, daß Zink und Platin eine so kräftige Wirksamkeit zeigen, und der Wahl von Zink und Kupfer vorzuziehen sein würden, wenn letzterer nicht ein billigerer Elektricitätserreger wäre, als Platin. Obgleich man, wie wir gesehen haben, auch gern Kupfer und Zink nimmt, da sie, wenn auch nicht so weit als jene, doch schon ziemlich weit von einander in der Spannungsreihe entfernt sind.

Vergleicht man nun die hier besprochene Elektricität mit

derjenigen, welche durch die Elektrisirmaschine erzeugt wird, so müssen wir uns gestehen, daß die galvanische und Maschinenelektricität sich durchaus nicht von einander unterscheiden, nur ist die Elektricität des Galvanismus fortwährend in Bewegung, während die der Maschine sich in Ruhe befindet.

Fragen wir uns ferner, wovon die Kraft des galvanischen Stroms abhängt, und welche Umstände darauf einwirken, so müssen, wie wir gesehen haben, vor Allem zwei Elektricitätserreger der Spannungsreihe mit einander in Verbindung gebracht werden, wozu dann noch Flüssigkeiten gehören. Diese bieten aber, da sie bekanntlich schlechte Leiter sind, einen gewissen Widerstand, welcher von der Spannung überwunden werden muß; mithin wird auch bei einer größern Anzahl von Plattenpaaren der Widerstand größer sein. Daher kommt es, daß, wenn die Kette vollkommen geschlossen ist, die Vermehrung der Plattenpaare nichts zur Vermehrung der circulirenden Elektricität beiträgt; bei unvollkommener Schließung aber tritt eine größere Spannung ein, wenn man mehrere Plattenpaare anwendet.

Gehen wir nun tiefer ein, so wird uns die Frage nicht fern liegen, ob die Erregung der Elektricität als eine Folge der Berührung der verschiedenen Metallkörper zu betrachten ist, oder ob eine wirkliche chemische Thätigkeit vorausgeht, welche von der Zersetzung des flüssigen Leiters herrührt.

Die erstere Ansicht nimmt eine chemische Thätigkeit nicht als Ursache an, auch nicht einmal, daß dieselbe, wenn auch eine gewöhnliche, doch nicht nothwendige Begleiterin des elektrischen Stromes sei, während die letztere, gewöhnlich chemisch-elektrische Theorie genannt, die galvanischen Erscheinungen als Folge eines chemischen Processes betrachtet. Beide Ansichten haben bis heute ihre Gegner und ihre Vertheidiger, aber wenn auch die chemisch-elektrische Theorie vor der eigentlichen Berührungstheorie viel-

fachen Eingang gefunden hat, so ist ihr doch der Vorwurf zu machen, daß sie den eigentlichen Volta'schen Grundversuch außer Augen läßt und keine Auskunft darüber giebt, wie die Spannung der Elektricität an den Polen der offenen Kette mit der Anzahl der Plattenpaare zunimmt, namentlich spricht aber der Umstand dagegen, daß man eine Reihe galvanischer Ketten schließen kann, bei denen vor ihrer Schließung keine Spur chemischer Zersetzung stattfindet, und dennoch ein Strom erzeugt wird. Auch frühere Anhänger dieser Theorie haben sich durch genaue Versuche überzeugt, daß die in dem feuchten Leiter auftretenden chemischen Erscheinungen nicht die Ursache, sondern die Wirkung des elektrischen Stromes seien.

Wirkungen des galvanischen Stroms.

Physikalische Wirkungen.

Die galvanischen Ströme bringen ähnliche Wirkungen wie die Reibungselektricität hervor. Befindet sich der galvanische Apparat in vollkommen isolirtem Zustande und bringt man den Zinkpol mit einem empfindlichen Elektrometer, z. B. mit einem Goldblatt-Elektrometer in leitende Verbindung, so gehen die Blättchen mit positiver Elektricität auseinander; dagegen trennen sie sich mit negativer Elektricität, wenn sie mit dem Kupferpol verbunden werden. Beide Elektricitäten nehmen von den Enden oder Polen nach der Mitte der Säule hin ab.

Verbindet man den einen Pol einer Volta'schen Säule mit der innern, den andern mit der äußern Belegung einer elektrischen Flasche oder Batterie, so ertheilt sie derselben fast augenblicklich eine schwache Lage, welche der elektrischen Spannung der beiden Pole der Säule entspricht, von der Größe der zu ladenden Batterie aber unabhängig ist.

Leitet man einen galvanischen Strom durch einen Metall-

draht, so wird der Draht erwärmt; damit aber der Strom eine starke Wirkung hat, muß der Draht sehr dünn sein. Die Stärke der Erhitzung richtet sich nach der Größe der Metallplatten und nicht nach ihrer Anzahl. Um Metalldrähte glühend zu machen, hat man nur eine einfache Kette von sehr großer Oberfläche nöthig, wozu sich ein Bunsen'scher Apparat ganz vorzüglich eignet. Je größer die wirkende Oberfläche des Apparats ist, desto dickere Drähte kann man damit glühend machen und schmelzen. Eisen- und Stahldraht werden weißglühend, Platindraht wird lebhaft glühend und schmilzt ab, wenn er für die angewandte Kette kurz und dünn genug ist. Dünne Goldblättchen werden verflüchtigt u. s. w. Besonders interessant ist aber das elektrische Licht, welches man bei Anwendung einer galvanischen Säule mit Hülfe von Kohlenspitzen wahrnimmt. Man bedarf dazu z. B. vier Elemente, eines Bunsen'schen Apparats und zwei Kohlenstücke, welche die Kohlencylinder mit den beiden Polen in Berührung bringen. Die Berührung zwischen einem Kohlenstück und einem Pole muß in möglichst vielen Punkten stattfinden; die Kohlen selbst müssen sich aber nur in einer Spitze berühren; an der Berührungsstelle erscheint dann ein kleiner, ungemein leuchtender Stern. Vermehrt man aber die Zahl der Elemente bis zu 24—30 oder gar bis zu 50, so erhält man ein außerordentlich blendendes, mit weitstrahlender Leuchtkraft begabtes Licht, welches noch intensiver wird und glänzender auftritt, wenn man anstatt der Kohlenspitzen Kalk anwendet; es wird dadurch ein herrlicher Lichtbogen erzeugt, welcher so stark ist, daß er sich herrlich für Leuchtthürme u. dgl. eignet.

Physiologische Wirkungen des Galvanismus.

Die Nervenzuckungen, welche die Elektricität der Volta-schen Säule hervorbringt, sind nicht weniger heftig, als die der

gewöhnlichen Batterie. Ihre Stärke hängt besonders von der Anzahl der Plattenpaare, also von der Größe der Spannung ab.

Berührt man die Pole einer Volta'schen Säule mit angefeuchteten Fingern, so empfindet man eine Erschütterung. Bleibt man in fester Verbindung mit den Polen, so hört bei schwachen Säulen alle Empfindung auf, bei stärkeren stellt sich ein brennendes Gefühl ein. Die Erschütterung kehrt wieder, wenn man die Säule öffnet. Sie wird stärker empfunden, wenn die Poldrähte sich in größeren Metallstücken enden, welche man mit den Händen anfaßt, oder wenn man die Poldrähte in zwei Gefäße mit angesäuertem Wasser leitet und hier hinein die Hände taucht. Führt man den einen Draht ans Ohr, während man den andern mit feuchten Fingern berührt, so hört man ein eigenthümliches Geräusch.

Chemische Wirkung des galvanischen Stroms.

Unter den Wirkungen, welche die galvanischen Apparate hervorbringen, sind die chemischen von größter Wichtigkeit, da sie sowohl zur Befestigung chemischer Theorieen Veranlassung gegeben haben, als auch im gewöhnlichen Leben mannigfachen Nutzen schaffen.

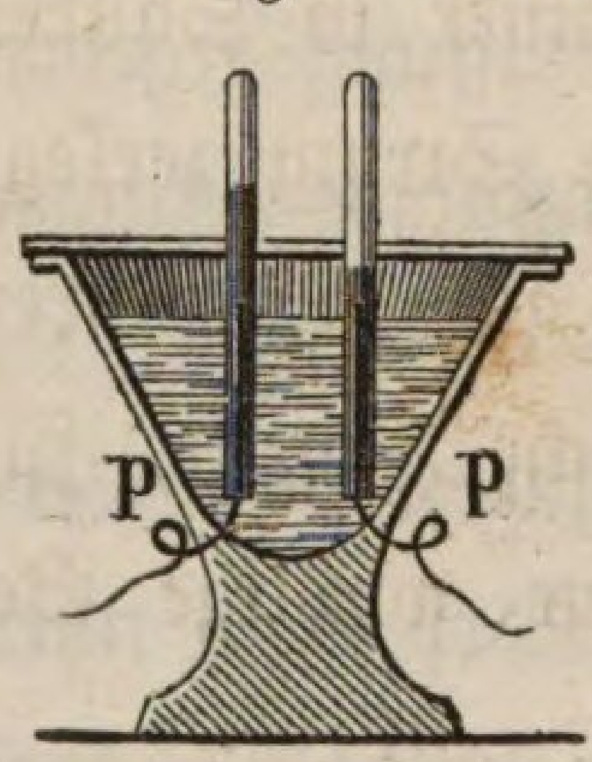
Im Anfange dieses Jahrhunderts wurde zuerst das Vermögen der elektrischen Kraft, zusammengesetzte Körper in ihre Bestandtheile zu zerlegen, beobachtet, indem man entdeckte, daß das Wasser durch den galvanischen Strom in seine beiden Bestandtheile, Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt werden könne. Läßt man nämlich den elektrischen Strom durch Wasser gehen, so daß die beiden Poldrähte in demselben in einer kleinen Entfernung von einander gehalten werden, so wird man sehr bald an dem negativen Pol der Säulen Gasblasen von Wasserstoffgas

aufsteigen sehen, während das Zink als das Element des positiven Pols Sauerstoff aufnimmt.

Diese Entdeckung zog die folgenreichsten Resultate von großer Bedeutung nach sich, denn man überzeugte sich nun immer mehr, daß der elektrische Strom nicht allein als Feuer wirkt, sondern eine chemisch zersetzende Eigenschaft besitzt; denn es scheint nach den gemachten Erfahrungen, daß alle zusammengesetzten Flüssigkeiten, welche zugleich Leiter der Elektricität sind, durch den elektrischen Strom eine chemische Zersetzung erleiden.

Will man eine solche Zersetzung vornehmen, so bringt man die Flüssigkeit am besten in ein besonderes Gefäß, etwa von Glas, die sogenannte Zersetzungszelle, in welche zwei gleichartige Metallstreifen oder Platten, z. B. Platinstreifen eintauchen, die mit der galvanischen Kette verbunden sind. Auf diese Weise läßt sich auch die Zersetzung des Wassers am besten wahrnehmen, wenn man dasselbe in ein Gefäß schüttet, in welches zwei Platindrähte, die mit einer galvanischen Kette in Verbindung stehen, eingeschmolzen sind *(Fig. 125.)* Stürzt man nun zwei weite Glasröhren über die Drähte, so wird man in der einen Wasserstoffgas und in der andern Sauerstoffgas aufsteigen sehen, da das Platin das Sauerstoffgas nicht aufnimmt. Jedoch ist für die Zersetzung des chemisch reinen Wassers eine kräftig wirkende Säule nöthig, da dieses einer der schlechtesten Leiter unter den Flüssigkeiten ist; sowie man aber ein wenig Säure oder Salz zusetzt, geht die Gasentwicklung rasch vor sich. Man wird bemerken, daß die Sauerstoffmenge, welche sich am positiven Pol entwickelt, dem Raume nach nur halb so groß ist, als die des Wasserstoffs, welcher am negativen Pol auftritt; jedoch ist es nicht allein gelungen, auf diese Weise Wasser zu zersetzen, sondern man hat

Fig. 125.



auch Oxyde (Verbindungen von Metall und Sauerstoff), sowie Salze und sogar aus manchen Salzen das Metall in metallischem Zustande abgeschieden.

Bei diesen Zersetzungen durch den galvanischen Strom ereignet sich, daß sich der Sauerstoff jedes Mal am positiven, die metallische Grundlage am negativen Pol ausscheidet und diese Thatsache hat eine Theorie, die sogenannte elektro-chemische Theorie befestigt, nach welcher in den verschiedenen chemischen Elementen bei ihrem Zusammentreten entgegengesetzte Elektricitäten erregt werden.

Nach dieser Ansicht sind demnach sämmtliche chemische Verbindungen als aus einem elektronegativen und elektropositiven Bestandtheil zusammengesetzt zu betrachten. Da die entgegengesetzten Elektricitäten sich anziehen und die gleichnamigen sich abstoßen, so nennt man nämlich den am negativen Pol sich ausscheidenden Körper elektropositiv, den am positiven Pol sich ausscheidenden elektronegativ.

Galvanoplastik.

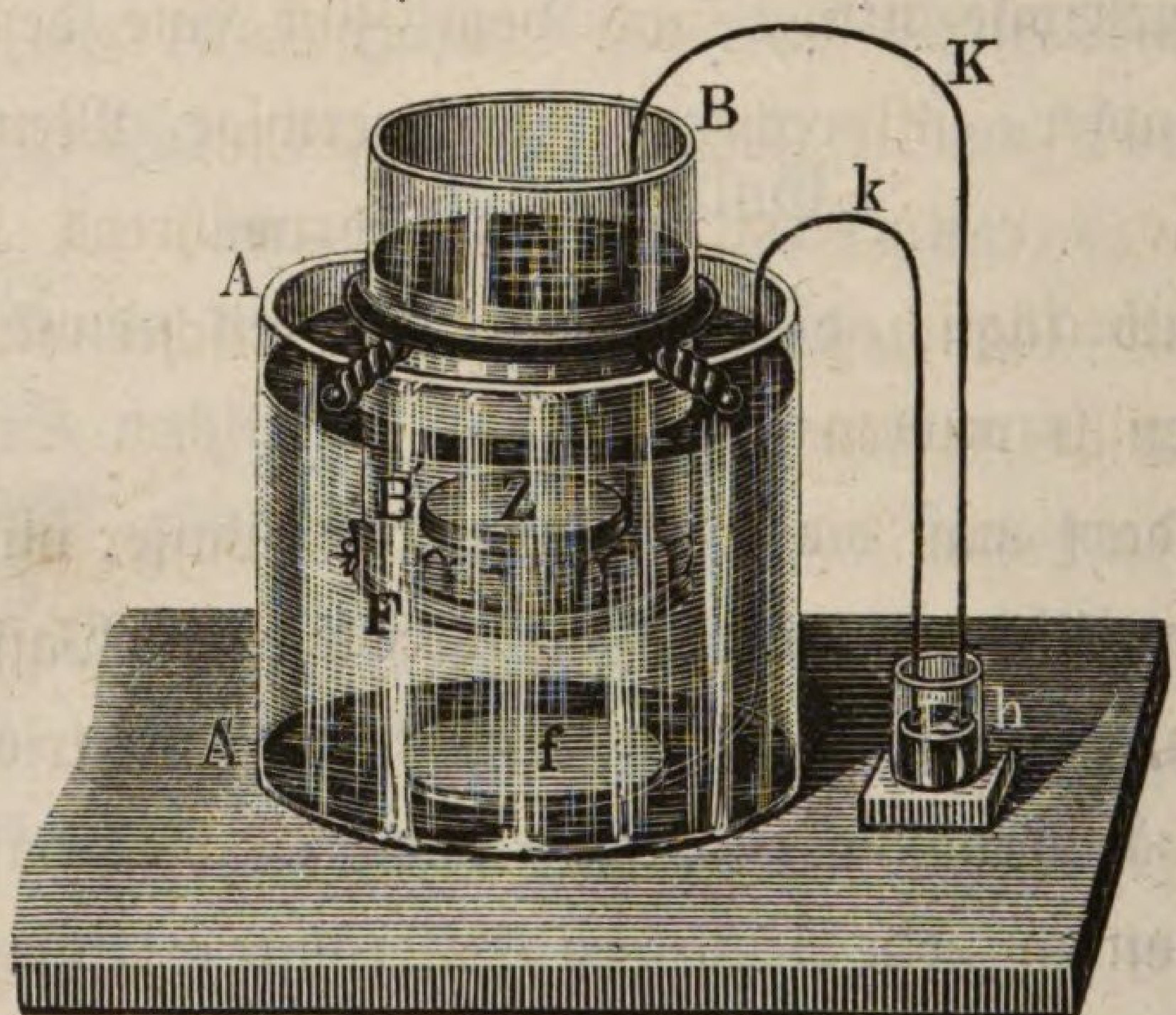
Die Entdeckung, daß Salzlösungen nicht immer in Säuren und salzfähige Grundlagen durch den elektrischen Strom zerlegt werden, sondern daß auch die Metalle häufig sich aus ihren Lösungen metallisch ausscheiden, hat für technische Zwecke, für Verkupferung, Vergoldung und Versilberung eine wichtige Bedeutung und Anwendung zur Folge gehabt.

Läßt man auf ein Silberplättchen einige Tropfen essigsaures Bleioxyd fallen und berührt alsdann mit der Spitze eines Zinkstückchens in der Mitte der Flüssigkeit das Silber, so bilden sich um die Berührungsstelle mehrere um den Mittelpunkt laufende Ringe, welche als die Nobili'schen Farbenringe bekannt sind. Viel schöner erhält man aber dieselben, wenn man diese

Flüssigkeit mit den beiden Polen einer elektrischen Säule in Berührung bringt und dem einen Pol die Form einer Platte, aus Silber bestehend, giebt, während die andere in einer Platinaspitze endigt.

Besonders interessant aber ist die Fällung des Kupfers aus einer Kupfervitriollösung durch den galvanischen Strom. Diese wird nämlich in der Weise zerlegt, daß das Kupfer am negativen Pol und der Sauerstoff am andern Pol austritt. Von dieser Ausscheidung des Kupfers hat man eine sehr interessante Anwendung gemacht, welche unter dem Namen „Galvanoplastik" bekannt ist. So wie man die Ausscheidung der edlen Metalle zu Ueberzügen metallischer Gegenstände benutzt, wendet man eine längere Zeit fortgesetzte Ausscheidung des metallischen Kupfers zu galvanoplastischen Abdrücken an. Die einfachste Vorrichtung, um solche Abdrücke zu erhalten, ist in *Fig. 126.* abgebildet.

Fig. 126.



A A′ ist ein 6—8 Zoll im Durchmesser haltendes Glasgefäß; in dieses hängt ein zweites engeres Glasgefäß B B′ von oben hinein, welches unten mit einer Thierblase F zugebunden ist. Etwas über der Mitte ist um dieses engere Glasgefäß ein Draht

r fest herumgewunden, der in drei Arme ausläuft, welche, auf dem Rande des äußeren Glasgefäßes aufliegend, das innere tragen. Dieses wird mit sehr verdünnter Schwefelsäure und das größere mit Kupfervitriollösung (oder wenn man ein anderes Metall niederschlagen will, mit der betreffenden Metalllösung) gefüllt.

In dem innern Gefäße ruht auf einem Kreuze von Holzstäbchen ein Zinkblock Z, an welchem ein Kupferdraht K, der in ein Quecksilbernäpfchen h eintaucht, angelöthet ist. Ein zweiter Kupferdraht k′ geht aus dem Quecksilbernäpfchen in die Kupfervitriollösung (oder Metalllösung), in welcher sich die zum Abdruck bestimmte Form f befindet, die gewöhnlich aus einer leichtflüssigen Metalllegirung, oder aus Stearin, oder aus Wachs ꝛc. besteht.

Das Kupfer wird nun in metallischem Zustande aus der Kupfervitriollösung niedergeschlagen, während die Schwefelsäure durch die Thierblase dringt und vom Zink eine dem niedergeschlagenen Kupfer entsprechende gleichwerthige Menge auflöst. Es wird also der Kupfervitriollösung fortwährend Kupfer entzogen, weshalb täglich der Apparat mit frischer Kupfervitriollösung nachgefüllt werden muß.

Ebenso darf man die Nachfüllung von Wasser im innern Gefäß nicht unterlassen, da sich durch die fortwährende Wasserzersetzung und das dadurch entstehende Zinkoxyd stets Zinkvitriol bildet.

Eine Abänderung der obigen Form ist die, daß man das Quecksilbernäpfchen und die beiden Poldrähte wegläßt, und statt dessen durch einen kupfernen Bügel den Zinkblock und die in dem größern Gefäß liegende Form mit einander verbindet.

Früher war man bei Anwendung der Galvanoplastik darauf angewiesen, Metalle mit Kupfer zu überziehen, später gelang es aber auch, andere Materialien, wie z. B. Gutta-Percha,

Wachs, Stearin, Gyps &c. auf galvanischem Wege mit metallischen Ueberzügen zu versehen, nachdem diese Massen zuvor durch Bestreichen mittelst Graphit leitend gemacht worden sind. In ähnlicher Weise, wie die Kupfervitriollösung, lassen sich auch Gold- und Silberlösungen zum Vergolden und Versilbern anwenden.

Thermo-elektrische Ketten.

Sowie durch die Berührung verschiedenartiger fester Körper und feuchter Leiter elektrische Ströme erzeugt werden, so lassen sich auch elektrische Ströme mit Hülfe der Wärme hervorrufen.

Besonders starke Wirkungen erhält man, wenn man zwei Metalle, z. B. Antimon und Wißmuth, zusammenlöthet.

Man hat dann auf diese Weise eine Kette, bei welcher durch Erwärmung ein elektrischer Strom erzeugt wird.

Werden mehrere solcher Ketten zusammengelöthet, so erhält man eine thermo-elektrische Säule.

Thierische Elektricität.

Bei einigen Fischen, wie z. B. beim Zitterrochen, Zitteraal, Zitterwels, hat man die merkwürdige Eigenschaft entdeckt, daß sie, sobald man sie berührt, elektrische Schläge ertheilen. Man erhält sie, wenn man den Fisch unmittelbar mit der Hand, als auch, wenn man ihn mit einem Metall berührt; sie bleiben jedoch aus, wenn die Berührung mit einem schlechten Leiter, z. B. mit einem Glasstabe geschieht. Ebenso hat man auch durch Untersuchungen dargethan, daß in dem menschlichen Körper durch Anstrengung der Muskeln Elektricität sich befindet.

Luftelektricität.

Der Nachweis, daß in unserer Atmosphäre, namentlich in den höheren Luftschichten, Elektricität erreicht wird, wurde namentlich von Benjamin Franklin geliefert, indem derselbe einen Drachen, das gewöhnliche Kinderspiel, mit

Metallspitzen versah und in die Luft steigen ließ; er vernahm beim Vorüberziehen der Wolken Geräusch und lockte auch mehre Funken heraus, indem er die Schnur mit dem Finger berührte. Gleichzeitig und nach ihm machten viele Physiker dieselben und ähnliche Versuche, wodurch immer mehr bestätigt wurde, daß die Gewitterwolken Elektricität enthalten und der Blitz eine Entladung derselben sei. Die atmosphärische Elektricität ist damit hinlänglich bewiesen und nicht allein durch die erwähnten und ähnliche Versuche, sondern durch solche bei heiterem Wetter. Aber die Frage, durch welche Ursachen die Luftelektricität erzeugt wird, ist nicht so unstreitig zu beantworten. Die chemischen Processe, auch selbst die Vegetation sind als Ursachen aufgeführt worden und dürften schwerlich ganz hinwegzuleugnen sein, aber auf der andern Seite ist sehr zu bezweifeln, daß diese Elektricitätserzeugung in regelmäßiger Weise vor sich geht und wiederkehrt. Jedenfalls ist die Annahme der älteren Physiker, welche die Ursache in der plötzlichen Berührung der dünnen und dichten Luftschichten suchten, nicht ganz zu verwerfen. Wenn wir auch zugestehen wollen, daß z. B. chemische Processe eine weit mächtigere Quelle für Elektricität sind, so ist doch wohl anzunehmen, daß die plötzliche Berührung durch Luftströmung eine beständigere Entwicklung von Elektricität erzeugt und dadurch auch wohl eine gleichmäßigere Entwicklung von Elektricität stattfindet.

Die großartigste durch die Luftelektricität bewirkte Erscheinung ist das durch Blitz und Donner charakterisirte Gewitter, eine Erscheinung, welche sich am häufigsten und heftigsten in der heißen Zone zeigt, wo sie besonders zur Regenzeit fast alle Tage stattfindet. Dem Gewitter geht eine mehr oder weniger rasche Wolkenbildung voran, so daß häufig binnen kurzer Zeit der vorher heitere Himmel ganz mit Wolken bedeckt wird.

Indem so die in der Luft enthaltenen durchsichtigen Dämpfe

sich zu Wolken verdichten, häuft sich zugleich in diesen Elektricität in um so größerer Menge an, je reichlicher und rascher die Verdichtung der Dämpfe erfolgt; so wie dann einerseits die in den Gewitterwolken angehäuften wässerigen Theile in Regengüssen niederstürzen, so entladet sich anderseits die in großer Menge angesammelte Elektricität in feurigen Blitzen.

Gewöhnlich geht der Entstehung der Gewitter im Sommer große Wärme bei heiterem Himmel und fast immer Windstille voraus, welche die Hitze für unser Gefühl noch drückender macht, was wir mit dem Worte „Schwüle" bezeichnen.

Bei den meisten Gewittern, die im Winter vorkommen, haben wir weniger Windstille, und da die Atmosphäre im Winter weniger Dämpfe enthält, als im Sommer, so ist eine hinreichend schnelle Verdichtung nur zur Zeit lebhafter Stürme möglich.

Die meisten Gewitter bewegen sich in Deutschland von Westen oder Südwesten gegen Osten oder Nordost; sowie auch die westlichen oder südwestlichen Winde die vorherrschenden Regenwinde sind.

Gewöhnlich meint man, daß die Gewitter gegen den Wind ziehen, aber diese Meinung ist eine irrige, wiewohl es richtig ist, daß die Luftströmungen in verschiedenen Höhen häufig und besonders bei Gewittern eine verschiedene Richtung haben, und daß der Zug der Gewitterwolken nicht immer mit der Richtung des Windes übereinstimmt.

Der Donner, welchen wir beim Gewitter wahrnehmen, ist offenbar dasselbe im Großen, was im Kleinen bei den elektrischen Funken der Maschinen und Batterieen als begleitender Knall hörbar wird, während der Blitz als die Entladung der Wolken-Elektricität zu betrachten ist. Sobald der Blitz von einer Wolke zur andern überschlägt, ist der Donner rollend und das Rollen des Donners wird theils durch Zurückwerfung des Schalles in den Wolken oder an Gegenständen auf der Erde hervorgebracht, weshalb

dasselbe auch in Gebirgen stärker, als in der Ebene vernommen wird. Theils entsteht dasselbe dadurch, daß der Schall, welchen der Blitz auf seiner zickzackförmigen Bahn an verschiedenen Stellen in der Luft erregt, wegen der ungleichen Entfernung dieser Stellen vom Ohre des Beobachters zu verschiedener Zeit an demselben anlangt.

Der einschlagende Blitz ist die Ausgleichung des elektrischen Gegensatzes zwischen der Gewitterwolke und der durch Vertheilung elektrisirten Oberfläche der Erde, welche sich unter der Gewitterwolke befindet; ob der Blitz an einer Stelle der Erdoberfläche einschlägt, über welcher die Gewitterwolke schwebt, hängt vorzüglich von der Stärke der elektrischen Ladung der Wolke, von der Höhe, in welcher sie schwebt und von der Feuchtigkeit, überhaupt von dem Leitungsvermögen der Luft ab, und wird weniger durch die Beschaffenheit der Gegenstände auf der Erdoberfläche bedingt. An schlechten Leitern bezeichnet der Blitz seine Bahn durch mannigfache Verletzungen, Zerschmetterung, Entzündung ꝛc. An guten Leitern, besonders Metallen, denen er vorzugsweise folgt, geht er, wenn dieselben eine hinreichende Stärke haben, ohne erhebliche Verletzungen hin, ja oft ohne eine Spur zurückzulassen.

Aus diesem Grunde versieht man häufig Gebäude mit zugespitzten Metallstangen, welche auf den hervorragendsten Theilen derselben angebracht werden, und mit dem Boden am besten durch eine Wasserrinne in Verbindung stehen. Zieht ein Gewitter über solche Gebäude hin, die mit Blitzableitern versehen sind, so werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung getrennt; die mit der der Wolke gleichnamige Elektricität wird abgestoßen und kann sich nun in dem Boden verbreiten; die entgegengesetzte strömt durch die Spitze der Leitungsstange in die Atmosphäre. Es kann daher, da die entgegengesetzten Elektricitäten immer den Leiter durchströmen, keine elektrische

Spannung eintreten, und folglich auch kein Schlag erfolgen, so daß man sich ohne Gefahr der Leitungsstange nähern darf. Zwei merkwürdige hier zu berührende Erscheinungen, welche bei der Entladung des electrischen Funkens wahrgenommen wurden, sind erstens der eigenthümliche Geruch, welcher bei der Entladung der atmosphärischen Elektricität bemerkt wird, zweitens die sogenannten Blitzröhren. Jener wahrgenommene Geruch wird gewöhnlich mit einem Schwefelgeruch verglichen, aber diese Vergleichung muß als irrthümlich bezeichnet werden, denn es ist vielmehr ein brandiger Geruch, welcher dem ähnlich ist, wie er bei der Wirksamkeit einer Elektrisirmaschine wahrgenommen wird.

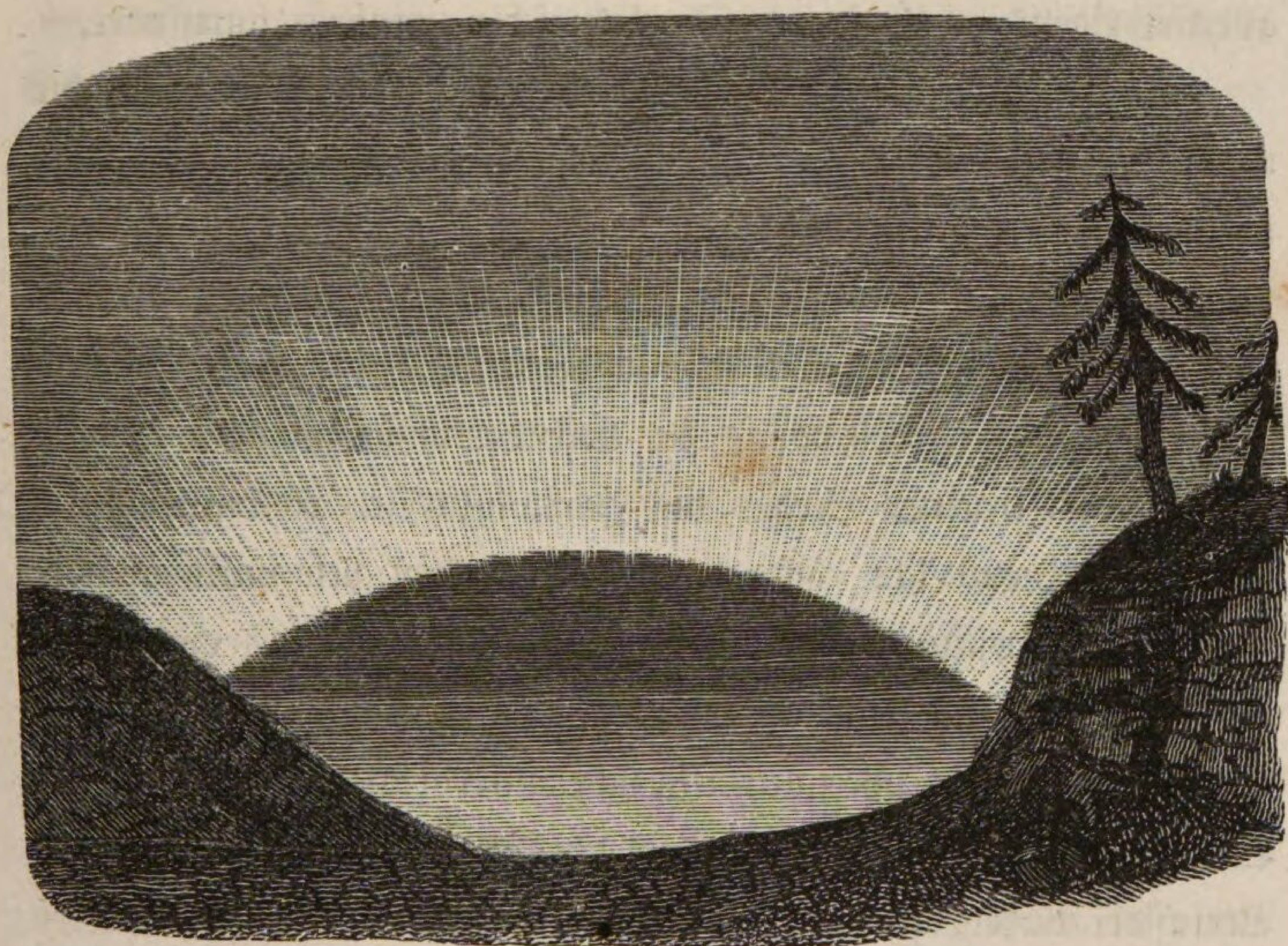
Unter den sogenannten Blitzröhren versteht man geschmolzene Massen, in Form röhrenartiger Körper, welche man an verschiedenen Stellen, wo der Blitz in die Erde gefahren ist, gefunden haben will, und die durch Verglasung des Quarzsandes entstehen, wenn der Blitz in der Erde auf Sandlager trifft.

Das Wetterleuchten. An heißen Sommerabenden nehmen wir oft an einzelnen Stellen des Horizontes, ja oft ringsum ein Aufflackern von Licht, oder vielmehr blitzähnlichen Erscheinungen wahr, ohne Donner zu hören, eine Erscheinung, die im gewöhnlichen Leben mit dem Ausdruck „Wetterleuchten“ bezeichnet wird. Diese Erscheinung wird gewöhnlich als von entfernt stehenden Gewittern erklärt und sicher ist dieses auch oft der Fall, wiewohl einige Beobachter der Ansicht sind, daß sie durch Ausströmung starker Elektricität ohne elektrischen Gegensatz der nahestehenden Wolkenschichten hervorgerufen wird. Dennoch ist es wahrscheinlicher, daß auch die an heitern Sommerabenden beobachtete Erscheinung von entfernt stehenden Gewittern herrührt, da Beobachter, die von hohen Bergen aus nach verschiedenen Richtungen hin Gewitter wahrnehmen, diese allmälig sich aufklären und die Wolken bis höchstens auf einen Saum entschwinden sehen werden.

St. Elmsfeuer ist eine elektrische Erscheinung, welche in einem ruhigen Leuchten besteht und sich dann an hohen Gegenständen, wie z. B. Thurmspitzen, Schiffsmasten ꝛc. kund giebt, wenn der Horizont mit vielen Gewitterwolken bedeckt ist.

Nordlicht. Zu Zeiten nehmen wir bekanntlich in den nördlichen Himmelsrichtungen eigenthümliche Lichtscheine *(Fig. 127.)* wahr, welche aus dem Grunde, weil sie von uns

Fig. 127.



nördlich beobachtet werden, Nordlichter heißen. Da man jedoch vom Nordpole aus nach der südlichen Halbkugel hin ähnliche Erscheinungen beobachtet hat, so pflegt man beide auch wohl Polarlichter zu nennen.

Während diese Lichtscheine in unseren Gegenden sich sehr unregelmäßig zeigen, kehren sie in den Polargegenden so häufig

und regelmäßig wieder, daß sie in jenen Gegenden gleichsam die Stelle der Sonne vertreten. Sämmtliche Beobachtungen stimmten darin überein, daß das Nordlicht als ein mehr oder weniger starker oder heller Lichtschein sich von uns aus an dem nördlichen Himmel zeigt; aber es ist die Frage, wie wir uns diese Erscheinung zu erklären haben.

Aller Wahrscheinlichkeit nach sind die Nordlichter als eine elektrische Erscheinung anzusehen, denn Beobachtungen haben gelehrt, daß die Magnetnadel während der Nordlicht-Erscheinung unruhig ist, wonach zu schließen, daß im Zusammenhang mit allen übrigen Erfahrungen ein elektrischer Einfluß stattfindet.

Höhenrauch. Mit diesem Ausdruck bezeichnet man die trocknen Nebel, welche wir zu Zeiten in der Atmosphäre wahrnehmen, deren Entstehung man dem zur Cultur vorgenommenen Moorbrennen zuschreibt.

Ist dieses auch wirklich manches Mal der Fall, so sind doch nicht alle Nebel von dieser Entstehung herzuleiten, sondern manche der trocknen Nebel sind ohne Zweifel elektrischen Ursprungs, der mit der Bildung von Gewittern zusammenhängt.

Ja dieser Höhenrauch ist oft nichts Anderes als eine Folge der nicht gehörig zur vollkommenen Ausgleichung gekommenen Wolken-Elektricität oder vielmehr der unterdrückten Entladung der Elektricitäten, wofür manche Beobachtung spricht und deren vom Verfasser selbst häufig gemacht worden sind.

Magnetismus.

Der Magnetismus ist ebenso wie Licht und Wärme ein ätherisches Fluidum, welches auch, wie jene, als eigenthümliche Erscheinung vorhanden ist. Es giebt im Innern der Erde Körper, welche die Eigenschaft an sich haben, Eisen anzuziehen, und solche Körper, im Grunde genommen Eisenerze, nennt man

gewöhnlich Magnete und zwar natürliche. Eine Anziehungs- oder magnetische Kraft wohnt in mehren Körpern und kann auch manchen vorübergehend ertheilt werden, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man einen Magnet in Eisenfeile taucht; man wird alsdann bald bemerken, daß die kleinen Eisenspänchen an der Oberfläche desselben anhängen. Gegen reines Eisen äußert sich diese magnetische Anziehungskraft stärker, als gegen solches, welches sehr reich an Kohlenstoff ist. Auch gegen Nickel und Kobalt äußert sie sich, wenn auch in schwächerem Grade als gegen Eisen.

Außer den natürlichen Magneten, welche, wie erwähnt, Eisenerze, d. h. Eisen mit Sauerstoff verbunden, sind, giebt es auch künstliche Magnete, welche gewöhnlich aus Stahl bereitet werden.

Ein jeder Magnet, mag er ein natürlicher oder ein künstlicher sein, besitzt die Eigenschaft, Eisen anzuziehen, aber besonders sind es zwei Stellen, an denen sich diese Anziehungskraft am stärksten äußert, die man Pole nennt, während die Linie, welche diese beiden Pole verbindet, die Achse des Magneten heißt. — Zwischen den beiden Polen giebt es aber eine Stelle, welche gar keine Anziehung äußert und diese Stelle heißt der Indifferenzpunkt, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man einen natürlichen Magneten in Eisenfeile *(Fig. 128.)* hin und her wälzt; die Enden bedecken sich dann mit langen Fäden von Eisenfeilspänen, während sie nach der Mitte hin immer kürzer sind, bis endlich in der Mitte gar kein Eisentheilchen hängen bleibt.

Fig. 128.

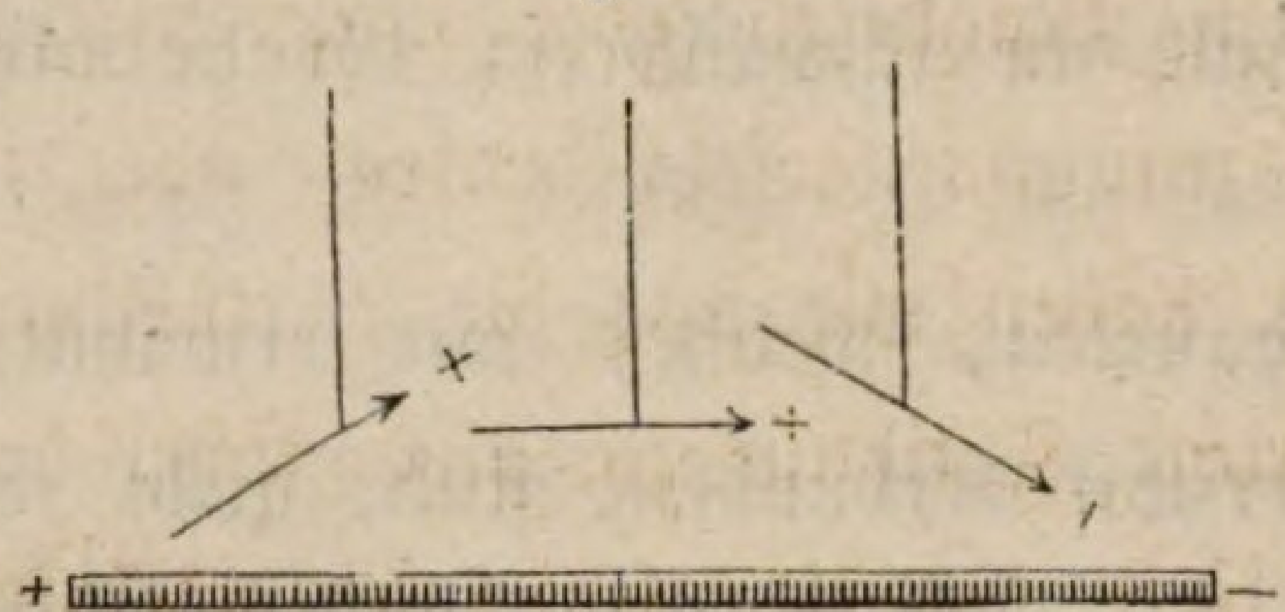


Die beiden Pole, welche an den Enden ihren Sitz haben, sind nicht gleichartig, sondern sind an Eigenschaft verschieden und

man nennt daher ihren Gegensatz magnetische Polarität, die beiden Pole aber bezeichnet man als positiv und negativ.

Hängt man einen Magneten an einem Faden auf und nähert die beiden Pole nach einander ein und demselben Pole eines anderen Magnetenstabes, so wird man wahrnehmen, daß das eine jener Polenden von diesem angezogen, das andere aber abgestoßen *(Fig. 129.)* wird, woraus zu schließen ist, daß die Pole verschiedener Natur sind und daher als ungleichartige oder entgegengesetzte bezeichnet werden können, weshalb man einen positiven und einen negativen Pol anwendet.

Fig. 129.



Hängt man eine feine Magnetnadel an einem Faden über der Mitte des Magnetstabes auf, so erhält sie eine den Polen entsprechende horizontale Lage, aber in der Weise, daß die ungleichnamigen Pole der Nadel und die des Stabes sich einander zuwenden. Die Nadel behauptet trotz aller Schwingungen, in die man sie versetzt, immer wieder dieselbe Lage, so lange man sie über die Mitte des Stabes hält, nähert man sie aber dem einen oder andern Ende des Stabes, so senkt sich ihre gegen dieses Ende gerichtete Spitze und ihr ungleichnamiger Pol wird sich dem des Stabes so viel wie möglich nähern. Dieser Versuch zeigt sowohl, daß die Pole ungleichnamig sind, als auch, daß die ungleichnamigen sich anziehen und die gleichnamigen sich abstoßen.

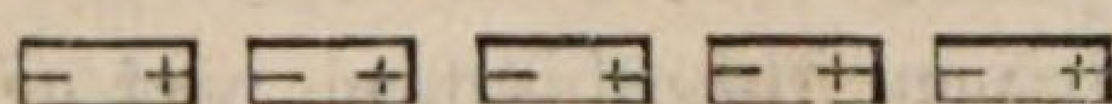
Dem Gesagten zufolge könnte man leicht zu der Vorstellung gelangen, daß jede der beiden magnetischen Fluida durch äußere Einwirkung getrennt und wiederum an einer andern Stelle des Eisens angehäuft werden können, so daß an dem einen Pol vorzugsweise die eine und am andern Pol die andere sich befindet.

Dies ist aber nicht die richtige Vorstellung, sondern wir haben uns einen jeden Magneten aus kleinen untheilbaren Theilchen bestehend zu denken; denn wenn wir einen Magneten zerbrechen, so werden sich gleich wieder neue Theile bilden.

Die magnetischen Fluida können nicht von einem Molekül zum andern übergehn, sie können aber in jedem Molekül für sich getrennt werden, so daß man die Moleküle selbst trennen müßte, wenn man jede der beiden Flüssigkeiten für sich darstellen wollte.

Wir müssen uns daher einen Magneten oder magnetisirten Eisenstab aus kleinen Theilchen zusammengesetzt denken, aber in getrenntem Zustande, und zwar haben wir uns die Vertheilung so zu denken, daß das gleichartige Fluidum in allen Theilchen nach derselben Seite hingekehrt ist. Es ist also an dem linken Ende des dargestellten Magneten nur das eine, an dem rechten Ende das andere Fluidum vorhanden *(Fig. 130.)*.

Fig. 130.



Um im Eisen dauernden Magnetismus hervorzurufen, oder einen Stahl dauernd magnetisch zu machen, ist das Bestreichen mit einem kräftigen Magneten erforderlich.

Man unterscheidet den einfachen und doppelten Strich. Beim einfachen Strich setzt man den einen Pol auf die Mitte des zu magnetisirenden Stahls, streicht nach dem einen Ende hin und hebt wieder auf; dieses wiederholt man mehrere Male, indem man immer in der Mitte aufsetzt und in derselben Richtung, aber niemals rückwärts streicht, und ebenso behandelt man die andere Hälfte des Stabes mit dem entgegengesetzten Pole, beim doppelten Strich bedient man sich am bequemsten eines hufeisenförmigen Magnetes. Man setzt diesen auf die Mitte des zu magnetisirenden Stabes und streicht nun nach beiden Enden hin, sowohl vorwärts als rückwärts und hebt

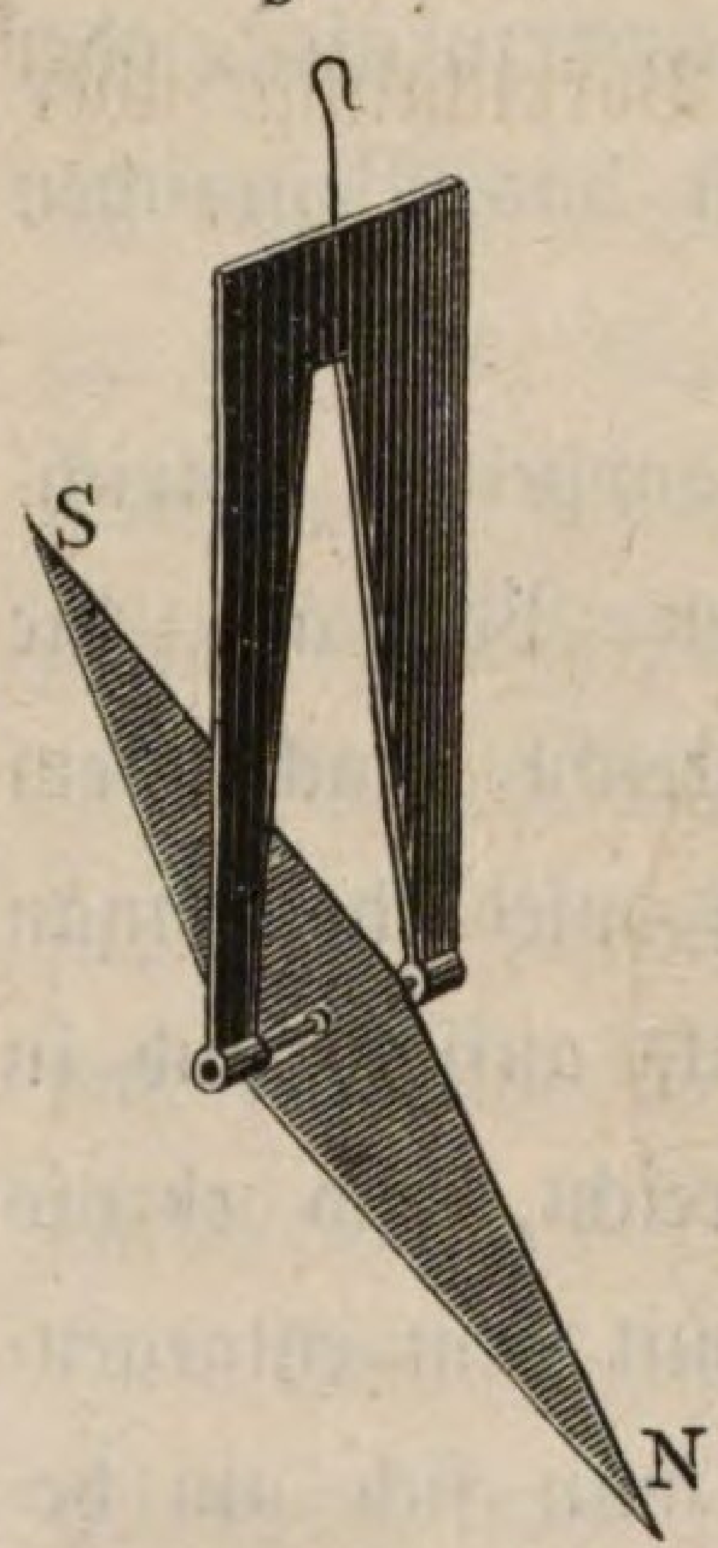
endlich in der Mitte auf. — Um die Kraft des Magneten zu erhalten, ist es zweckmäßig, demselben beständig etwas zu tragen zu geben. Belastet man einen Magneten nach und nach vorsichtig immer mit größerem Gewicht, so kann dadurch seine Kraft allmälig vergrößert werden.

Von dem gewöhnlichen Magnetismus pflegt man den Diamagnetismus zu unterscheiden, welcher solchen Körpern beigelegt wird, die den Magnet abstoßen; derartige Körper sind z. B. Zink, Zinn, Quecksilber, Blei, Kupfer u. s. w.

Magnetische Abweichung.

Wir haben oben gehört, daß, um den positiven und negativen Pol oder den Nord- und Südpol eines Magneten ausfindig zu machen, man sich einer Magnetnadel bedienen kann. Eine solche Magnetnadel besteht aus einem magnetisirten Stahlstäbchen *(Fig. 131.)*, welches in der Mitte durchbohrt und mit einem kleinen Achathütchen versehen ist, mit dessen Hülfe die Nadel auf einer Spitze ruht, um welche sie sich frei herumdrehen kann. Diese Magnetnadel hat die Eigenthümlichkeit, daß sie stets nach Norden zeigt, jedoch findet in unsern Gegenden eine Abweichung von ungefähr 18° gegen Westen Statt; man unterscheidet daher ein magnetisches und geographisches Norden.

Fig. 131.



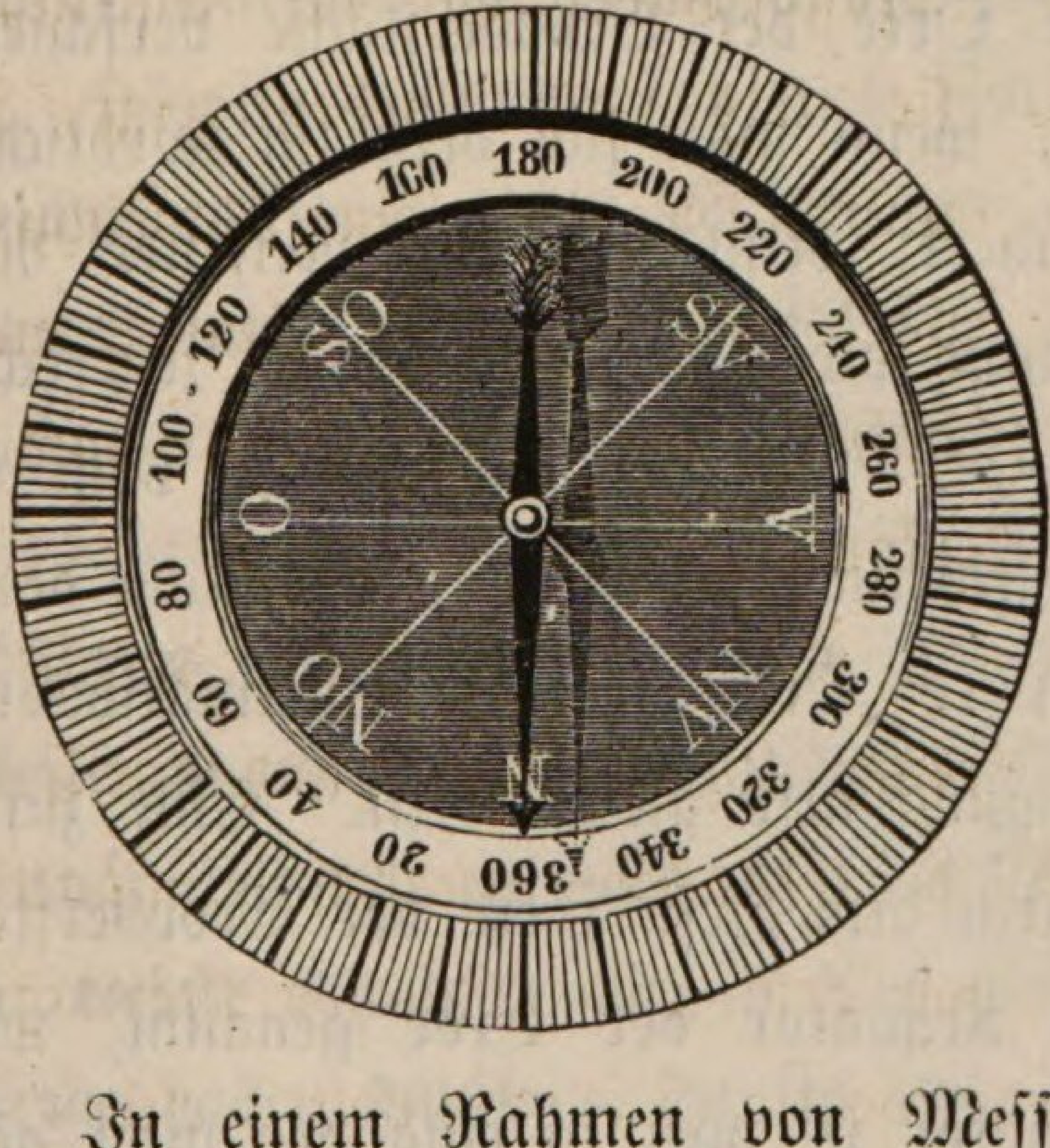
Eine Ebene, welche durch die beiden Pole einer Magnetnadel und durch den Mittelpunkt der Erde geht, nennt man magnetischen Meridian, zum Unterschiede von dem geographischen Meridian, welcher durch die Pole der Erde geht. Der Winkel, welchen der magnetische Meridian mit dem geographischen Meridian bildet, oder viel-

mehr der Winkel, um welchen die Achse der Magnetnadel von der Mittagslinie abweicht, heißt die magnetische Abweichung.

Orte, welche dieselbe magnetische Abweichung haben, werden isogonische genannt; verbindet man dieselben durch zusammenhängende Linien, so erhält man isogonische Linien. Diejenigen Punkte, auf welche die Magnetnadel gerade nach Norden und Süden zeigt, bilden die Linie ohne Abweichung.

Das Bestreben der Magnetnadel, sich mit einem Pole gegen Norden zu wenden, ist als eine Wirkung der magnetischen Kraft der Erde anzusehen und wir werden leicht zu der Vermuthung geführt, daß die wahre Richtung dieser Kraft keine horizontale sein könne, sondern gegen den Horizont geneigt sein müsse; hierzu benutzt man wohl einen Compaß oder die Boussole; jedoch ist dieselbe zur genauen Bestimmung nicht ausreichend, da die Magnetnadel in diesem Instrumente sich nur in horizontaler Richtung drehen, sich also nicht frei bewegen kann. Dagegen werden wir uns leicht von der Richtigkeit der aufgestellten Behauptung durch die in *Fig. 133* abgebildete Vorrichtung über-

Fig. 133.



zeugen können. In einem Rahmen von Messing, an einem Faden aufgehängt, ist eine Nadel von Stahl so angebracht, daß

sie sich um eine horizontale Achse drehen kann, welche genau durch den Schwerpunkt der Nadel geht. So lange nun die Nadel unmagnetisch ist, ruhet sie in jeder beliebigen, sowohl in der horizontalen als in einer gegen den Horizont geneigten Lage. Wenn man aber die Nadel magnetisirt, so stellt sie sich von selbst in die Ebene des magnetischen Meridians, und nimmt eine schiefe Lage an, indem das Nordende der Magnetnadel sich senkt und die Achse der Nadel mit dem Horizont in unseren Gegenden ungefähr einen Winkel von 70⁰ bildet. Bringt man die Nadel aus dieser Lage, so kehrt sie nach einigen Schwingungen von selbst in diese Lage zurück.

Der Winkel, welchen die Achse einer frei beweglichen Magnetnadel mit dem Horizonte macht, wird die magnetische Neigung oder Inclination genannt.

Eine Nadel, welche dazu bestimmt ist, die magnetische Neigung zu messen, heißt Inclinationsnadel, während die zur Bestimmung der magnetischen Abweichung dienenden Nadeln Declinationsnadeln genannt werden.

Die magnetische Neigung ist ebenso, wie die Abweichung für verschiedene Orte der Erdoberfläche verschieden, sie wächst im Allgemeinen, wenn man sich dem im nördlichen Amerika belegenen Pole nähert; denn als der Reisende Roß diesen Pol erreicht hatte, stand die Inclinationsnadel senkrecht; die Neigung war also hier 90⁰. Mit der Entfernung vom Pole nimmt die Neigung im Allgemeinen ab, und in der Nähe des geographischen Aequators giebt es Orte, wo die Inclinationsnadel wagerecht schwebt, die Neigung also gleich 0 ist. Eine zusammenhängende Linie, welche durch alle diese Orte der Erdoberfläche geht, wird der magnetische Aequator der Erde genannt, welcher den geographischen Aequator in zwei in einander nicht genau gegenüberliegenden Punkten im atlantischen Ocean, der Westküste von

Afrika gegenüber, im stillen Ocean, östlich von Neu-Guinea durchschneidet, und sich ungefähr 15° von demselben entfernt. Von den beiden ungleichen Hälften, in welche der magnetische Aequator durch den geographischen getheilt wird, liegt die durch Amerika gehende südlich, die andere nördlich von demselben.

Dem Gesagten zufolge ist die magnetische Kraft der Erde eine verschiedene und es ist nun die Frage, ob diese Kraft, welche der Magnetnadel ihre Richtung giebt und gewöhnlich Erdmagnetismus genannt wird, überall auf der Erde die nämliche ist. Erfahrungen haben gelehrt, daß die Stärke des Erdmagnetismus vom Aequator ab nach den Polen hin zunimmt; sie ist indessen weder an den Polen am stärksten, noch an dem magnetischen Aequator überall dieselbe. Die Abweichung, die Neigung und die Stärke des Erdmagnetismus sind an dem nämlichen Orte der Erde nicht beständig dieselben. Vor etwa 300 Jahren wich z. B. das Nordende der Magnetnadel vom geographischen Norden in unsern Gegenden nicht wie gegenwärtig gegen Westen, sondern gegen Osten ab; diese Abweichung verminderte sich allmälig immer mehr, bis vor etwa 200 Jahren ein Zeitpunkt eintrat, in welchem die Nadel genau nach Norden zeigte. Hierauf entfernte sich das Nordende der Nadel vom geographischen Norden gegen Westen hin und die westliche Abweichung wuchs immer mehr, bis sie vor etwa 40 Jahren ihren höchsten Punkt erreicht hatte; seitdem aber hat sich dieselbe allmälig wieder etwas vermindert und das Nordende der Nadel nähert sich nun langsam wieder dem geographischen Norden.

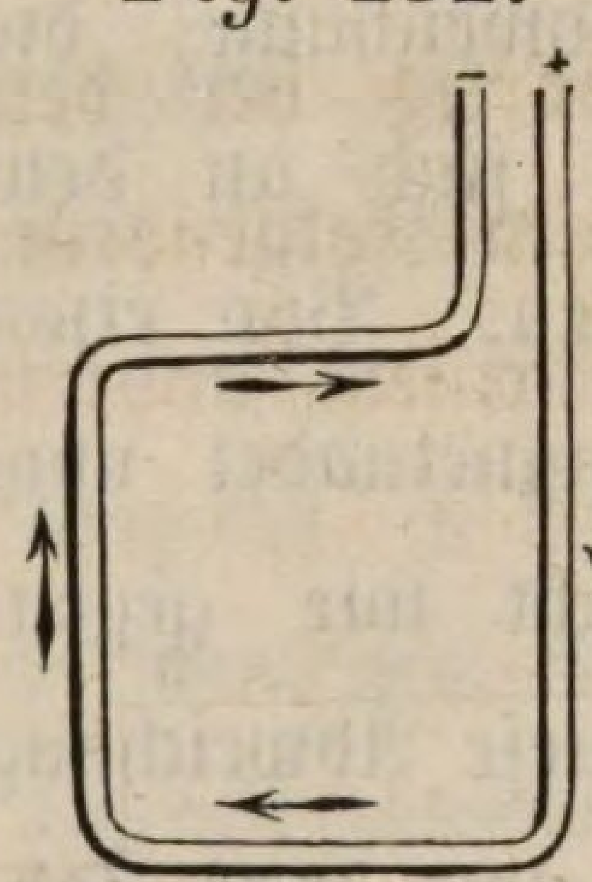
Außer dieser angeführten periodischen Bewegung zeigt die Magnetnadel noch kleinere tägliche und jährliche regelmäßige Schwankungen, welche ihren Grund in dem Wechsel der Tages- und Jahreswärme haben dürften, da sie mit diesem in dieselbe Periode fallen.

Elektromagnetismus.

Im Jahre 1820 machte der dänische Naturforscher Oerstedt die wichtige Entdeckung, daß die Elektricität auf den Magnetismus wirke, daß nämlich der Schließungsdraht einer galvanischen Säule, während der elektrische Strom hindurchgeht, auf eine frei hängende Magnetnadel eine ablenkende Einwirkung hervorbringt, wodurch die Vermuthung befestigt wurde, daß Elektricität und Magnetismus als Zwillingskräfte zu betrachten seien.

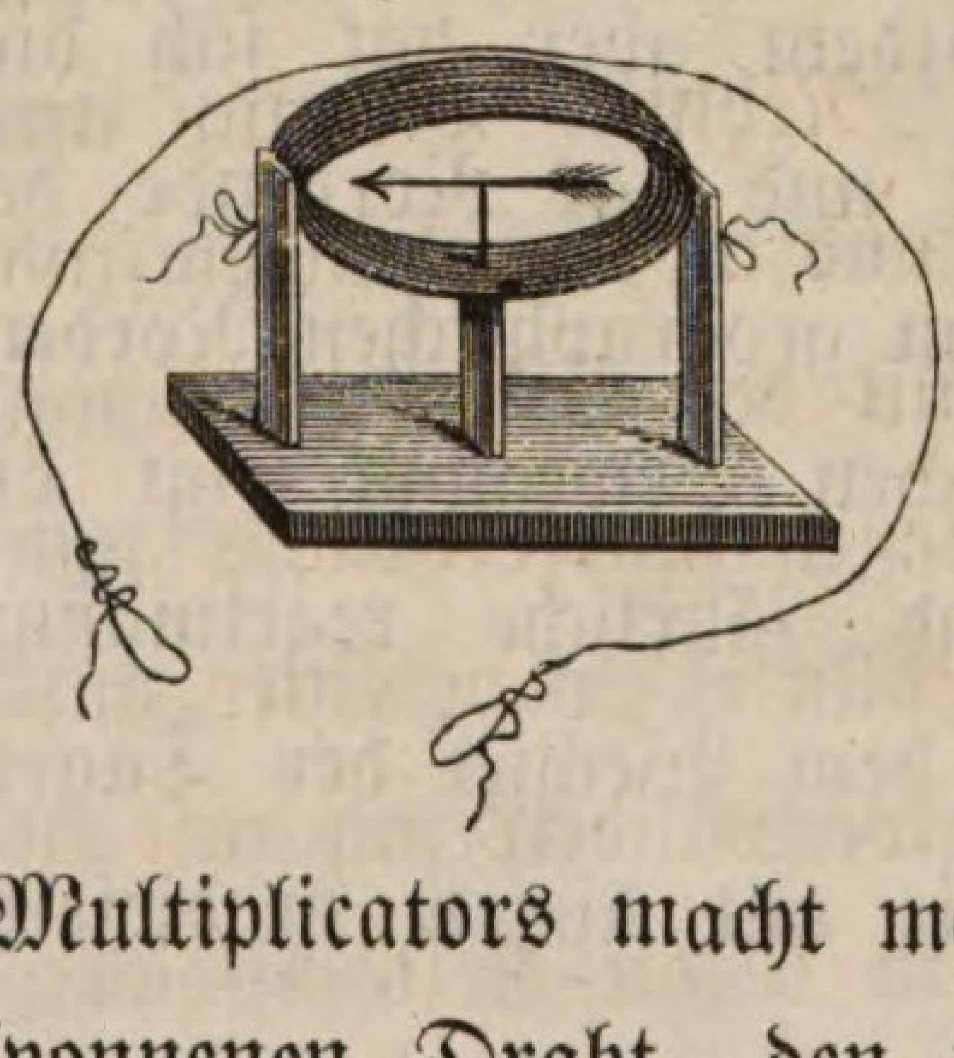
Um sich von der Einwirkung des galvanischen Stroms auf die Nadel zu überzeugen, kann man einen etwas starken Kupferdraht nehmen, welcher zu einem Quadrat *(Fig. 132.)* gebogen ist. Die beiden Enden dieser Drähte tauche man in ein Quecksilbernäpfchen einer galvanischen Batterie, oder verbinde sie geradezu mit den Polen einer elektrischen Säule. Hält man nun eine Magnetnadel gerade über das Drahtstück, so wird dasselbe nicht dem Strome parallel bleiben, sondern sie wird von demselben abgelenkt.

Fig. 132.



Sehr bald nach dieser Entdeckung der magnetischen Wirksamkeit der Elektricität machte man eine höchst wichtige Anwendung davon, um die Anwesenheit elektrischer Ströme zu erkennen und die Stärke derselben zu ermessen; die hiefür ersonnenen Apparate nennt man „Galvanometer.“ Ein solches Galvanometer ist der Multiplicator von Schweiger und Poggendorff, wie es die *Fig. 133.* darstellt. Die Drahtgewinde d dieses Multiplicators macht man aus eisenfreiem mit Seide dicht übersponnenen Draht, den man auf einen rechtwinkligen Rahmen

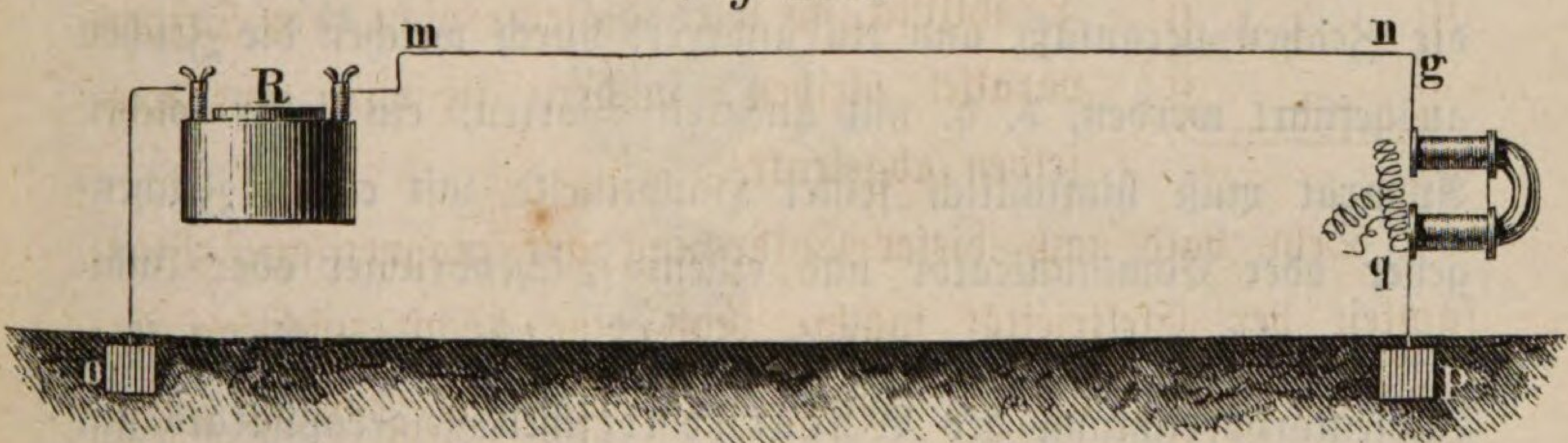
Fig. 133.



von Holz oder Metall aufwickelt, so daß im Gewinde nur noch der nöthige Raum für die Bewegung der Nadel m bleibt. In der Mitte befindet sich eine verticale Spitze, auf welcher die Magnetnadel ruht. Verbindet man nun die Drahtenden mit den Polen einer elektrischen Säule oder Kette, so wird die Magnetnadel eine Ablenkung erfahren, selbst wenn die schwächsten elektrischen Ströme auf sie einwirken, weshalb ein solches Galvanometer für die Entdeckung elektrischer Ströme sehr brauchbar ist.

Die nützlichste Anwendung, welche man von der Eigenschaft des elektrischen Stroms, in weichem Eisen vorübergehenden Magnetismus hervorzurufen, gemacht hat, ist die elektrische Telegraphie. Die Einrichtung, welche gegenwärtig bei den meisten deutschen Telegraphen üblich ist, besteht in Folgendem. Um von dem Stationsorte R *(Fig. 134.)* nach einem andern

Fig. 134.



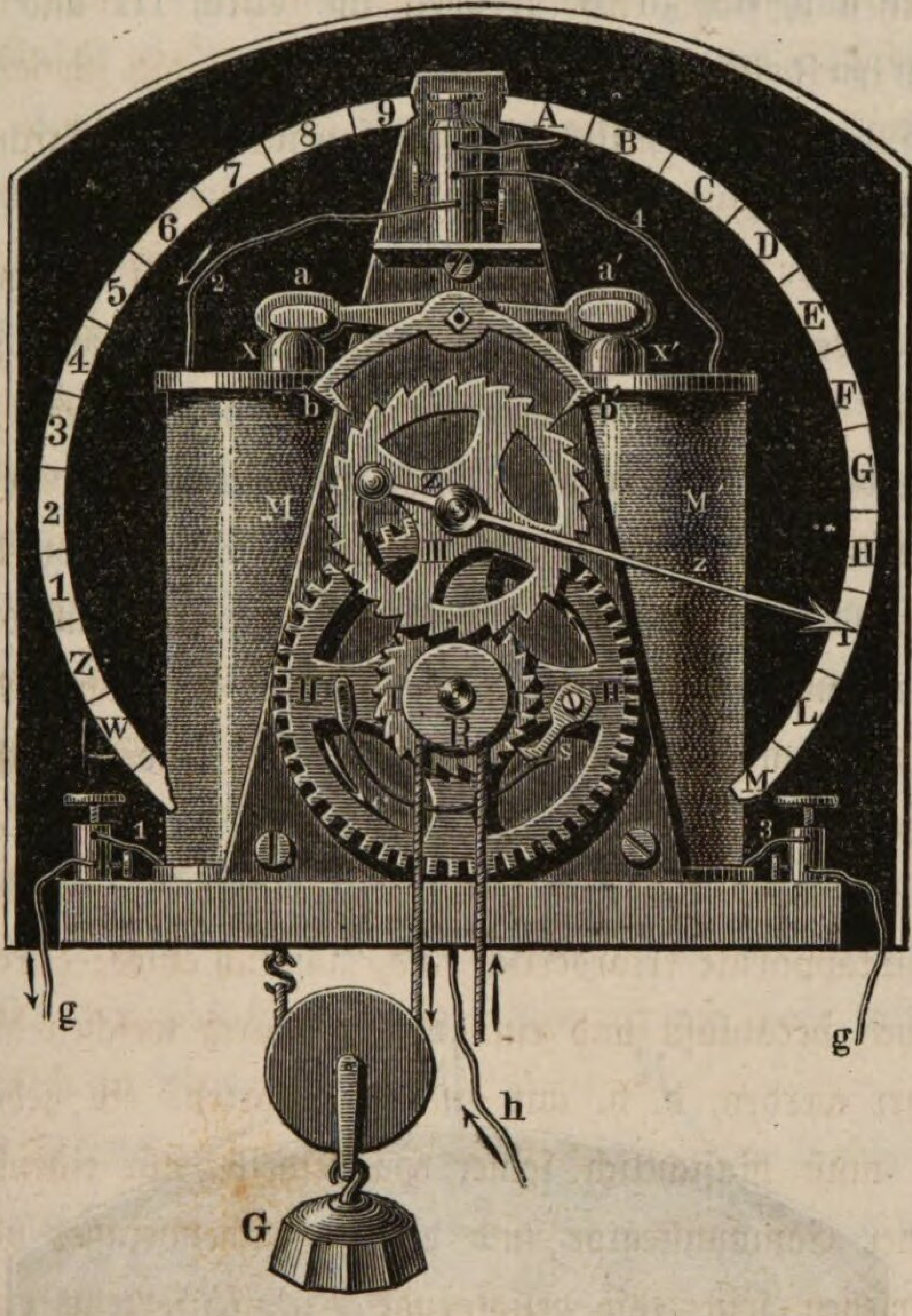
Stationsort g zu telegraphiren, verbindet man beide Orte durch einen oder mehre isolirte Kupferdrähte. Nehmen wir nun an, daß solcher Verbindungsdrähte zwei, m n und o p, vorhanden sind und daß die Enden dieser Drähte in g mit den Enden eines um ein Hufeisen aus weichem Eisen gewundenen Kupferdrahts und in a die Enden der nämlichen Drähte mit den Polen einer galvanischen Batterie verbunden wurden, so verwandelt sich fast in demselben Augenblick, in welchem man in R die Kette schließt, das Hufeisen in g in einen Magneten und zieht einen Anker an,

welcher vorher von den Polen durch eine schwache Feder um einen kleinen Abstand entfernt gehalten wurde. Sowie man aber die Kette in R öffnet, wird der Anker durch die schwache Feder von den Polen des Hufeisens wieder losgerissen. Auf diese Art erhält man ein Mittel, durch wiederholtes Oeffnen und Schließen der Kette von R nach g Signale zu geben. Hat man nur einen einzigen Draht, so verbindet derselbe den einen Pol der in R befindlichen Batterie mit dem einen Ende des um das Hufeisen in g gewickelten Kupferdrahts, während man den zweiten Draht durch den feuchten Erdboden ersetzt, indem man in diesen sowohl bei R, als auch bei g eine Metallplatte einsenkt, und mit der einen den andern Pol der Batterie in R und mit der andern das andere Ende des um das Hufeisen in g gewickelten Kupferdrahts verbindet.

Man bedient sich zum Telegraphiren gewisser Zeichen, wozu zwei Hauptapparate erforderlich sind, nämlich eines, durch welchen die Zeichen veranlaßt und ein anderer, durch welchen die Zeichen ausgeführt werden, d. h. mit anderen Worten, ein jeder solcher Apparat muß hinsichtlich seiner Haupttheile mit einem Zeichengeber oder Communicator und einem Zeichenbringer oder Indicator versehen sein; die beifolgende *Fig. 135.* zeigt eine bessere Indicatorvorrichtung des Wheatstone'schen Zeigerapparats mit Gewichtvorrichtung. M M' sind zwei mit Draht umwundene Elektromagnete, deren Eisenkerne x x' aus den Drahtrollen hervorsehen. Zu beiden Seiten derselben stehen auf der Bodenplatte zwei Messingsäulchen zur Aufnahme der Enden 1,3 des Umwindungsdrahts; an dem Obertheile des Ständers steht ein drittes Messingsäulchen d, durch welches die beiden anderen Enden 2,4 mit einem dritten Leitungsdrahte h in Verbindung stehen. Die Leitungsdrähte g g' stehen zunächst mit M M' in Verbindung.

R ist eine mit einem Sperrrade I fest verbundene Rolle,

Fig. 135.



über welche eine Gewichtsschnur geht, s ist der Sperrhaken, c die diesen Haken niederhaltende Feder.

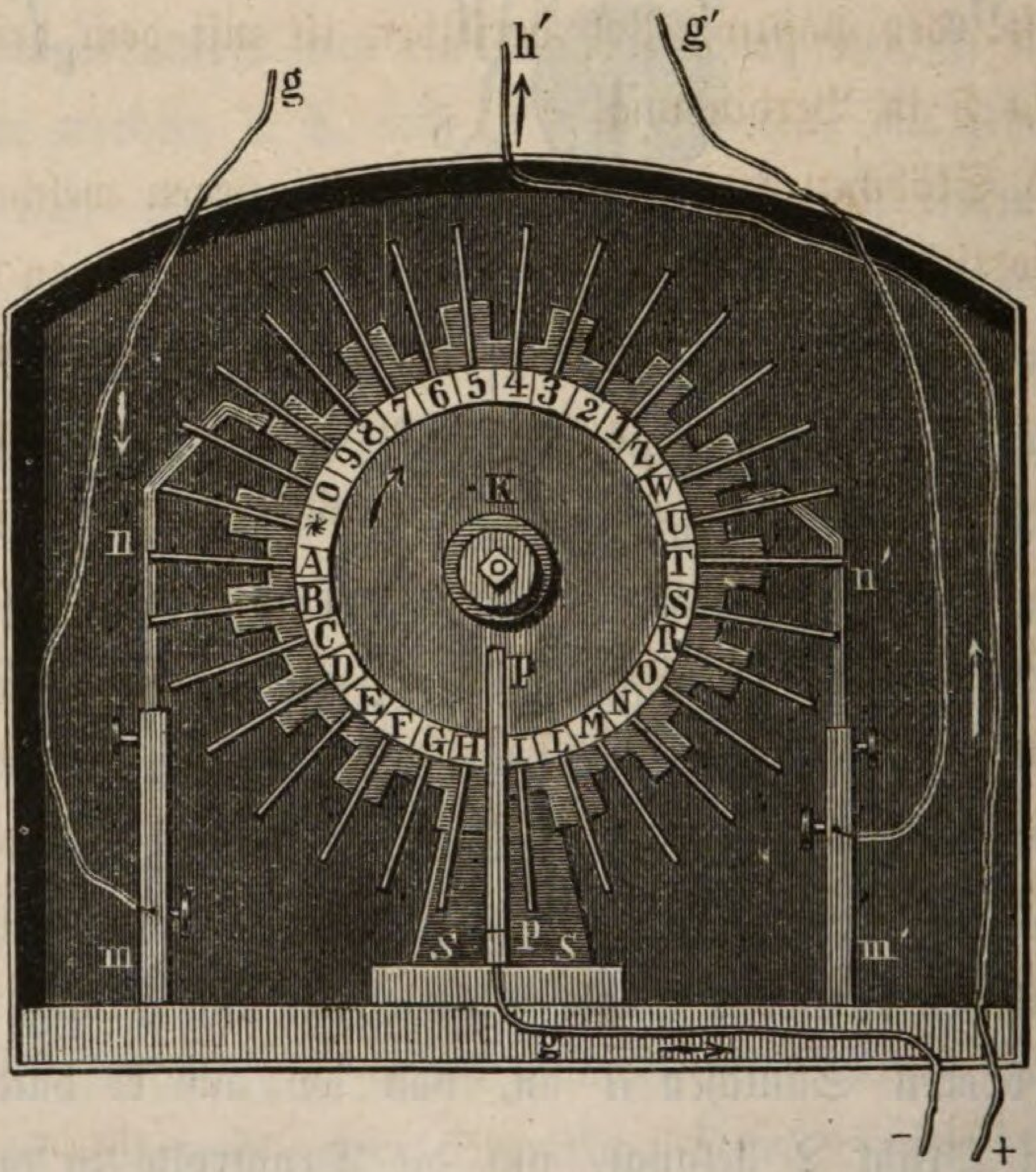
Das Gewicht G dreht die Räder II und III in der Richtung der Pfeile herum; die Achse des letzteren Rades zeigt auf der vorderen Seite den Buchstabenzeiger z z, welcher die am Rande eines Zifferblattes eingegrabenen Buchstaben und Ziffern andeutet.

Der auf der entfernten Station erregte galvanische Strom wird durch den mittleren Draht h hingeleitet und gelangt also stets in dem oberen Säulchen d an, von wo aus er bald nach M durch den Draht 2 gelangt, um die Drahtrolle zu durchlaufen

und dann durch 1 und g zu der andern Station zurückzukehren, bald aber auch sich zu M′ wendet, um durch III und g′ seinen Kreislauf zu vollenden.

Auf der Welle e sitzt ein Hebel a a′ mit dem Echappement b b′; durch die eigenthümliche Einrichtung des Zeichengebers (*Fig. 135* b.) wird bei der Drehung desselben der galvanische Strom abwechselnd bald zu M, bald zu M′ geleitet; dadurch wird bald x, bald x′ magnetisch und daher wird bald der Hebel a, bald a′ angezogen. Das Echappement b b′ erhält hierdurch dieselbe Bewegung, wie bei der Regulirung durch ein Pendel, und läßt demnach das Räderwerk in sprungweiser Bewegung ablaufen. Der Zeiger z z auf der Welle des Rades III theilt diese Bewegung und springt auf der Indicatorscheibe von einem Buchstaben zum folgenden. Der Communicator *(Fig. 135 b.)*

Fig. 135 b.



muß demnach die Eigenschaft haben, daß der galvanische Strom abwechselnd bald zu M, bald zu M′ geleitet wird. Der verticale Messingständer S S trägt auf einem horizontal vorspringenden Arme K das messingene Buchstaben- oder Speichenrad. Der breite Umfang desselben ist in ebenso viele gleiche Theile getheilt, als der Indicator Zeichen enthält; ein Theil um den andern ist aber ausgeschnitten, so daß in der Figur 15 Vorsprünge und eben so viele Einschnitte, den 30 Indicator-Zeichen entsprechend, am Rande der Scheibe vorhanden sind. Die Buchstaben und Ziffern sind auf der vorderen Fläche der Scheibe den genannten Randtheilchen gegenüber verzeichnet; jedem Zeichen gegenüber ist eine Speiche befestigt, durch welche die Scheibe in der Richtung des Pfeils ruckweise rundgedreht wird. Die Randtheile stehen mit den beiden Leitungsdrähten g g′ in Verbindung, während der messingene Ständer, auf dem die Achse der Scheibe ruht, durch einen Draht y mit dem negativen Pole der Batterie verbunden ist; der positive Pol derselben ist mit dem dritten Leitungsdraht h in Verbindung.

Das Stäbchen p p dient als Marke, gegen welche der die Speiche fortschiebende Finger jedes Mal anhält, um zu verhüten, daß nicht mehr als genau ein Zeichen bei jedem Ruck die Marke passire. Eine Speiche nach der andern wird mit einer angemessenen Geschwindigkeit an dem Stäbchen pp, wo sie einen Augenblick angehalten wird, verbeigedreht, bis dazu der signalisirende Buchstabe *(Fig. 135.)* eingestellt ist. Nach einer kleinen Pause erfolgt dann die Drehung des Rades von Neuem, bis die ganze Depesche buchstabirt worden ist.

In der Ruhelage steht im Indicator der Zeiger z z auf dem Zeichen * zwischen O und A, im Communicator steht dem entsprechend die Speiche * an der Marke p p. In dieser Stellung steht die Feder n′ m′ mit der Scheibe K und

dem negativen Pole in Verbindung. Der Strom circulirt also vom positiven Pol h nach der andern Station, tritt bei d ein und vollendet seinen Kreislauf in der Richtung 4, M', 3, g', m', n', K, SS, y — Pol. — Unter dem Einfluß von M' ist daher a' von x' angezogen und b' liegt zwischen den Zähnen des Rades III. Das Uhrwerk ist also arretirt.

Stellt nun der entfernte Telegraphist, die Scheibe K links drehend, den Buchstaben a an die Marke pp, so verläßt m' n' den Scheibenumfang und m n tritt mit ihm in Berührung, daher nimmt nun der Strom nicht mehr den Weg um M' des Indicators, sondern um M, indem in der Richtung + Pol h, d 1, M 1, g, m n, K, SS, y 2 — Pol seinen Kreislauf vollendet.

Der Zeigerapparat k l, von Siemens und Halske construirt, setzt ohne Beihülfe eines Uhrwerks durch die bloße Einwirkung eines galvanischen Stroms auf Elektromagnete einen Wecker und einen Zeiger in Bewegung.

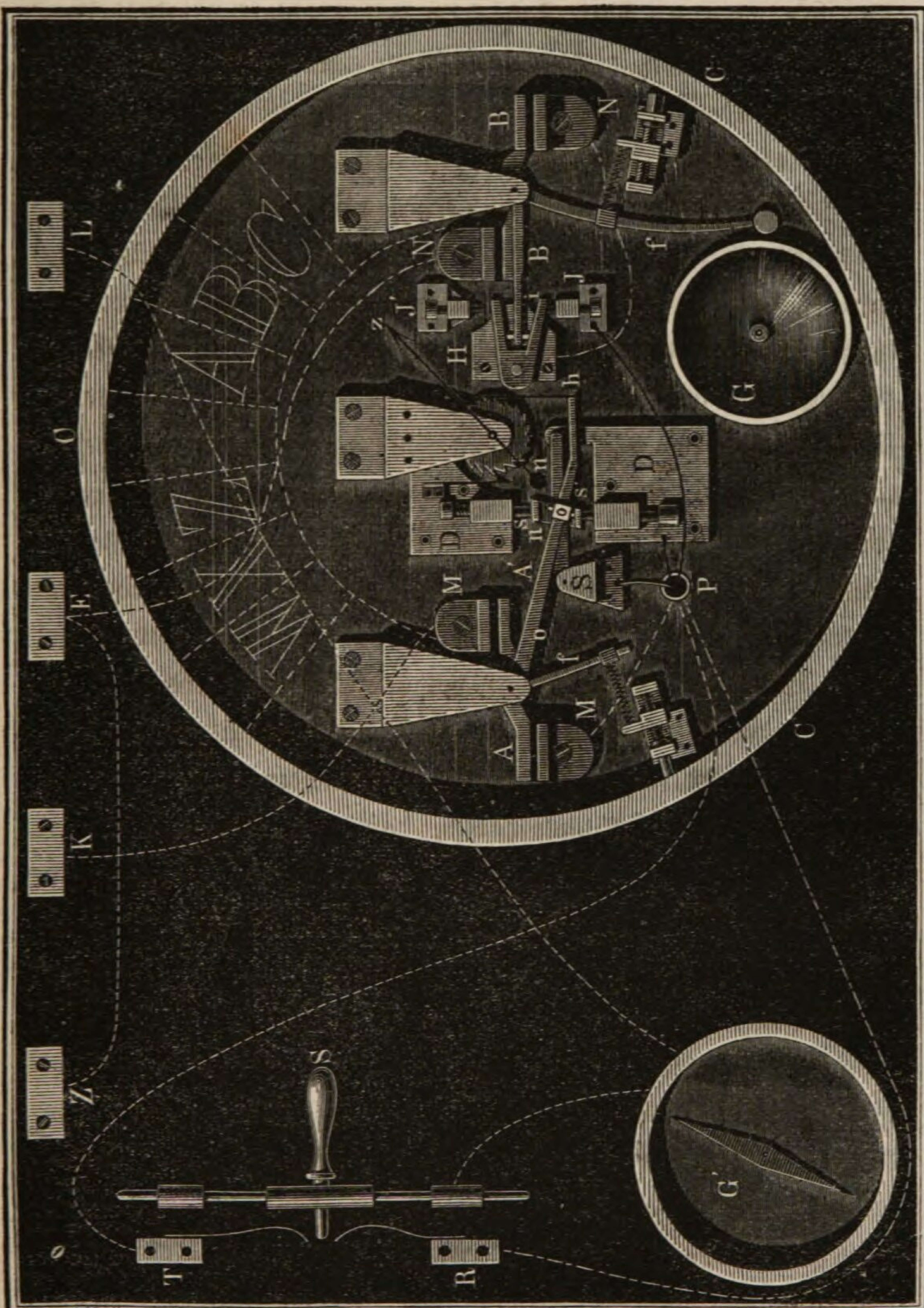
Fig. 136. bietet den Mechanismus jener beiden Theile, welcher innerhalb einer, über der Deckplatte eines viereckigen Kästchens hervortretenden runden Messingkapsel C C C eingeschlossen ist, die blos die Achse des Zeigers hindurchläßt.

Die zum Betriebe erforderlichen zwei Elektromagnete befinden sich, nebst den in der Figur punktirt gezeichneten, Verbindungsdrähten unterhalb der Deckplatte in dem eigentlichen Raum des Kastens. Auf der Deckplatte sieht man noch das Galvanometer G', den Schieber S', die Contactfedern R (Ruhe), T (Telegraphiren) und die Drehklemmen Z (Zinkpol), K (Kupferpol), E (Erddraht), L (Leitungsdraht).

Der Weckerapparat ist der einfachere Theil des Ganzen und besteht aus den in der Figur rechts vor dem Haken h liegenden Theilen und der Glocke G.

N N sind die beiden Pole eines Elektromagneten; seine

Fig. 136.



Schenkel befinden sich unterhalb des Deckels und stehen senkrecht gegen denselben; seine Pole gehen durch den Deckel hindurch und sind mit Kappen oder Schuhen besetzt, die sich dem hervortretenden Eisenkern an der einen Seite rund anschließen, an der andern Seite aber in ebene Platten auslaufen, mit welchen sie auf die ebenfalls plattenförmig gestellten und durch ein ∾ förmig gebogenes Eisenstück mit verbundenen zwei Ankern B anziehend einwirken. Die Drehungsachse dieses Ankers trägt zwei Führungsarme i und f, welche beide zugleich mit dem Anker hin- und hergehen. Der letztere f schlägt bei seiner Bewegung mit seinem klöppelförmig gestalteten Ende gegen die Glocke G, der erstere i liegt zwischen den zwei Schenkeln einer Messinggabel, welche sich um einen auf dem Fuße H stehenden Metallzapfen mit einiger Reibung hin- und herbewegen läßt. Zwei metallene Schraubenspitzen I, I′ schränken diese Bewegung in eine Grenze ein, die der Bewegungsgröße des Ankers genau entspricht und daher durch Verstellen der Schrauben vor dem Gebrauche des Apparats genau regulirt werden muß. Im Ruhezustande, wo, wie die Figur zeigt, die Anker B von N N nicht angezogen sind, muß die Gabel eine solche Stellung haben, daß der untere oder vordere Schenkel durch den Arm i gegen die Schraubenspitze I leicht angedrückt wird. Der Arm i trägt an seinem Ende beiderseits eine Elfenbeinspitze, damit sein Metallkörper mit der Gabel nicht in Berührung komme.

Die Enden des den Elektromagneten bildenden Umwindungsdrahtes gehen unterhalb der Drehplatte einerseits an die Drahtklemme E, andererseits nach dem Fußgestelle H, während ein anderer, dem Wecker ebenfalls angehöriger Draht, von dem Gestelle I aus durch die Oeffnung P unter die Deckplatte tritt und hier an der Klemme und der Centralfeder R festgeschraubt ist.

Man denke sich jetzt den positiven Pol einer Batterie mit Z, den negativen mit R verbunden. In dem Augenblick, wo die Batterie geschlossen wird, geht dann ein Strom von Z über E nach dem Elektromagneten NN und von dessen Umwindungsdraht nach dem Ständer H und dessen Gabel. Da diese gegen die Schraube I anliegt, so gelangt der Strom durch die Gabel über I nach R und dem negativen Pole. Der Anker B wird also angezogen und der Arm i verläßt den vordern Schenkel der Gabel. Diese selbst aber bleibt gegen die Schraube I anliegend und unterhält also den Strom während der anziehenden Wirkung von N N gegen B so lange, bis B in die unmittelbarste Nähe von N N gekommen ist. In diesem Augenblick aber hat der Arm i den hintern Schenkel der Gabel erreicht, er schlägt gegen ihn an und dreht die ganze Gabel nach I′ hin; dadurch verläßt der vordere Schenkel die Schraube I, und es entsteht nun zwischen diesen beiden Theilen eine Unterbrechung, wie sie früher zwischen der Gabel und I′ bestand. Eben dadurch ist für den Strom die Brücke, über welche er von H nach I gelangen konnte, aufgehoben, er kann nicht mehr circuliren und ist unterbrochen. Der Elektromagnet N N läßt seinen Anker B fahren und dieser wird nebst dem Arm i von einer Spiralfeder, die hier auf den Klöppel f einwirkt, vollends in die vorige Lage zurückgezogen. In dem Augenblick aber, wo der Anker in diese alte Lage zurückgekehrt ist, hat auch der Arm i durch Anschlagen an den vordern Schenkel die Gabel wieder nach I verlegt und dadurch die Brücke für die Circulation des Stromes wieder hergestellt. NN wirkt nun abermals anziehend auf B und es wiederholt sich auf diese Weise die eben beschriebene Bewegung sämmtlicher Theile so lange, als die Batteriepole mit R und Z in Verbindung bleiben.

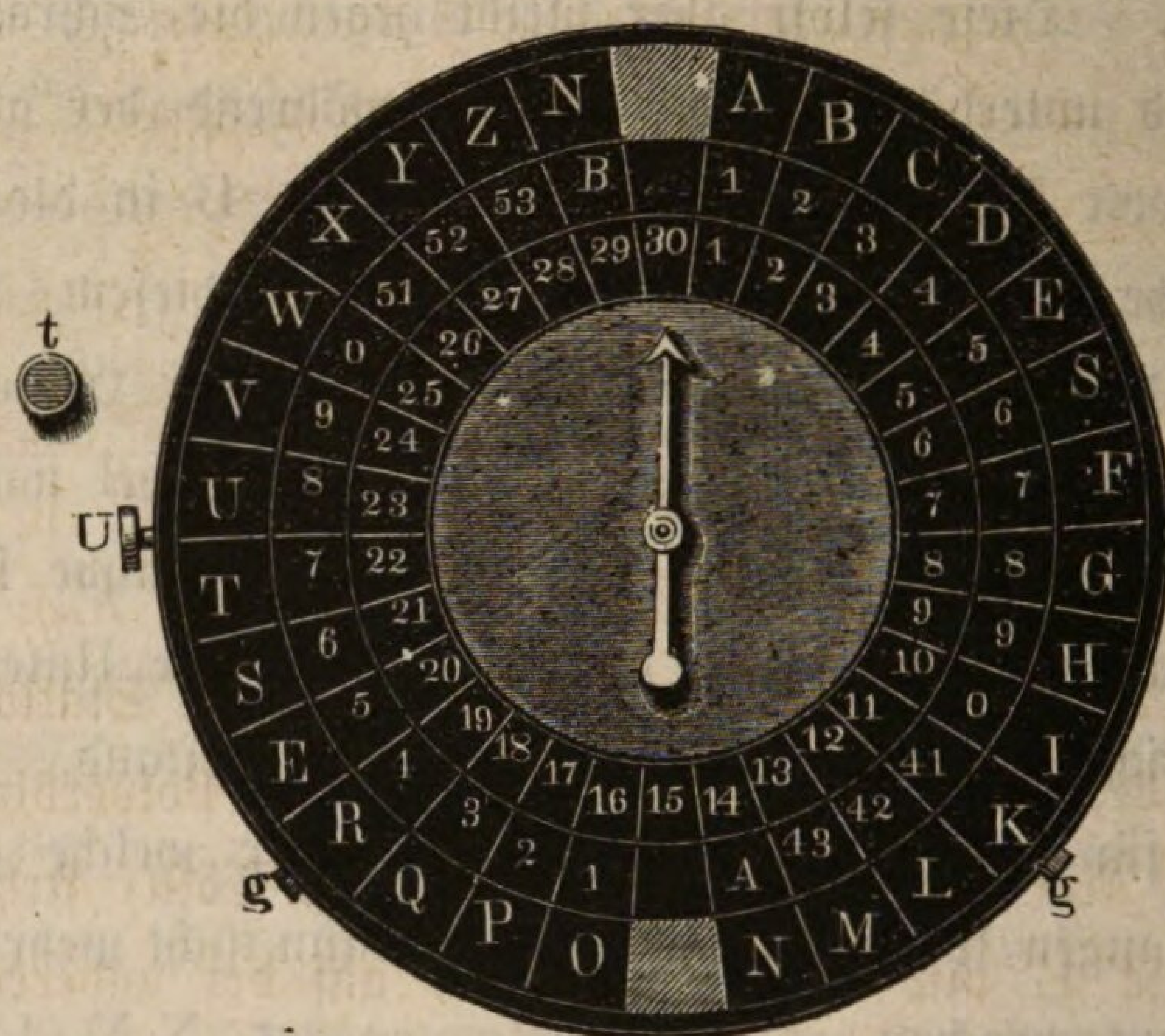
Bei der hin- und hergehenden Bewegung des Armes f

schlägt sein Klöppel fortwährend gegen die Glocke G; die Unterbrechung und Wiederherstellung des Stromes erfolgt hierbei durch den Apparat selbst, woher sein Name Wecker mit Selbstunterbrechung.

Die mechanische Einrichtung des Zeigerapparats umfaßt die links von dem Haken h liegenden Theile.

Fig. 137. zeigt die Anordnung des Zifferblattes; die Buch-

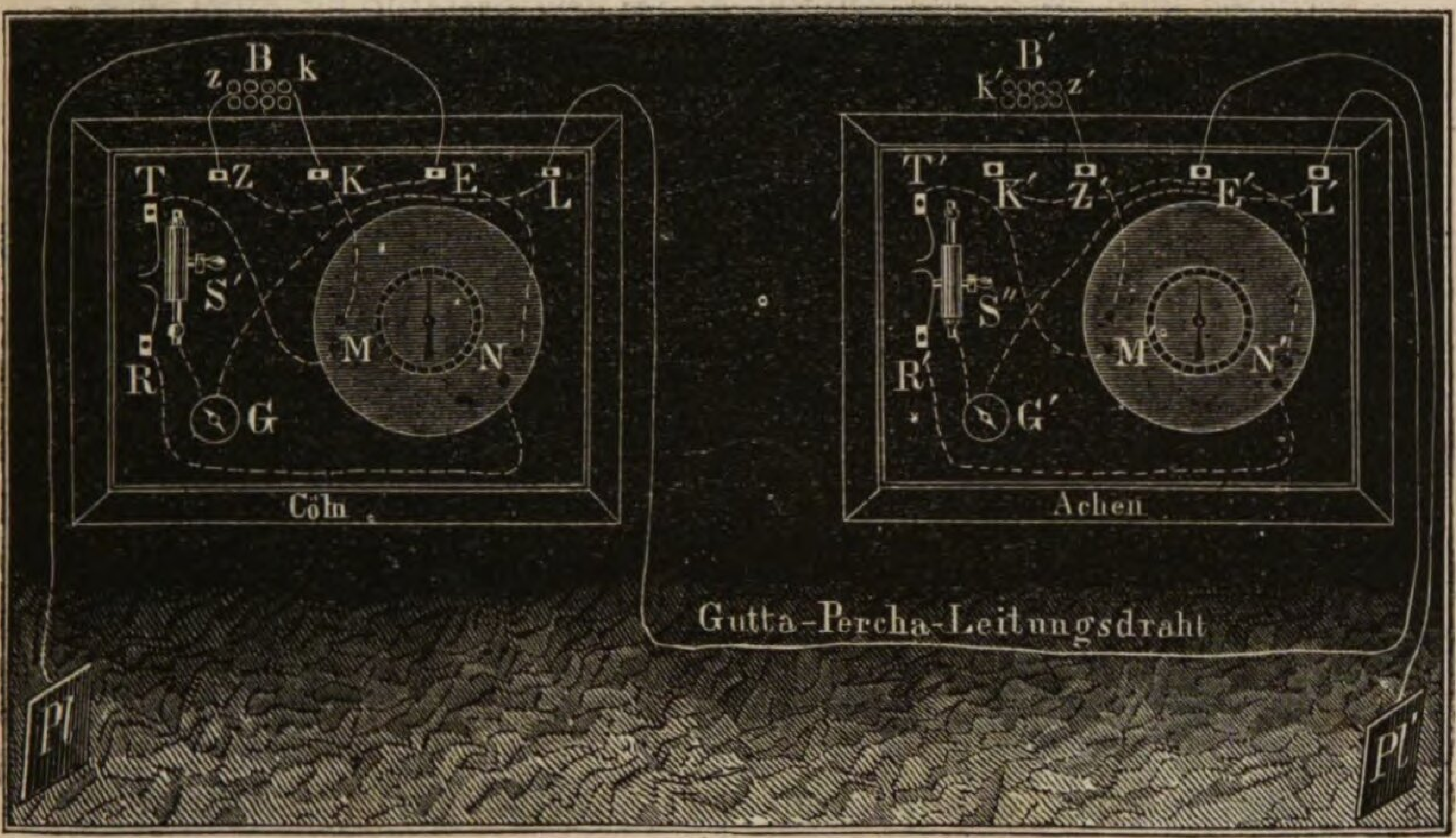
Fig. 137.



staben E, S N kommen als die in der deutschen Sprache am häufigsten gebrauchten Zeichen zwei Male vor; die Felder 41, 42, 43 — 51, 52, 53 und der innerste Ring beziehen sich auf die geheime Chiffre-Correspondenz; g und g′ sind zwei aus der Messingkapsel hervortretende Arme der auf die Spiralen f f′ einwirkenden Schrauben, zu denen die Telegraphisten Schlüssel haben, um durch Anziehen oder Nachlassen der Schrauben die Spannkraft der Federn nach Maßgabe der Stromstärke zu reguliren.

Die *Fig. 138.* stellt zwei Apparate dar, von denen der eine in Cöln, der andere in Aachen gedacht werden mag, und in

Fig. 138.



denen die Zeichnung des Mechanismus weggelassen ist, die Buchstaben beziehen sich durchweg auf die Theile der *Fig. 136.*

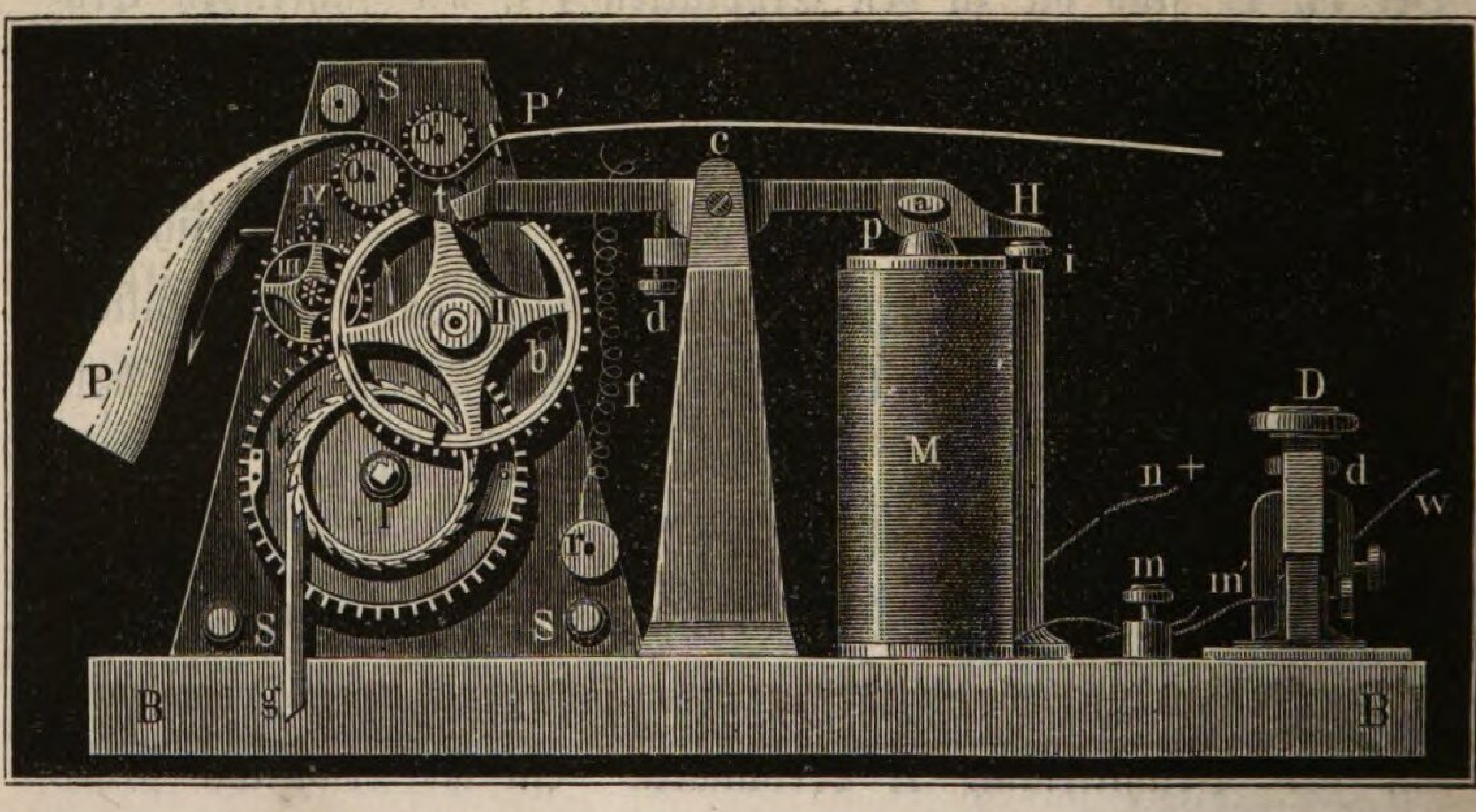
Die Anordnung der Apparate ist auf beiden Stationen durchaus dieselbe, mit alleiniger Ausnahme der Polverbindung der Batterie. Auf der einen Station (z. B. Cöln) steht nämlich die Klemme E mit dem Zinkpol Z, auf der anderen Station dieselbe Klemme E' mit dem Kupferpol K' in Verbindung. Bei E, E' sind die zu den Erdplatten Pl, Pl' führenden Erddrähte, bei L, L' die Enden des Leitungsdrahtes eingeschraubt; Z, Z' sind die Klemmen für die Zinkpole; K, K' für die Kupferpole der Batterie. Der Schieber S' (vergl. *Fig 136.*) läßt sich an einer Messingstange entlang vorbeischieben, so daß eine metallene Spitze bald mit der Contactfeder T (beim Telegraphiren) bald mit R (in der Ruhe) in Verbindung steht. Für die Stellung des Schiebers zwischen den Federn T und R, wie in *Fig. 136.*, ist kein Strom möglich. Die Drahtenden des Galvanometers G' sind einerseits mit dieser messingenen Schieberstange, andererseits mit der Drahtklemme L verbunden. In der Ruhelage stehen

die beiden Schieber S', S'' auf beiden Stationen auf R. Bei dieser Stellung sind beide Batterien B, B' offen, denn in Aachen findet vom Pole z' aus über Z', M', T' hinaus keine Weiterleitung Statt, und eben so trifft man in Cöln vom Pole k aus über K, M, T (im Falle S' auf R steht) offene Kette. In diesem Zustande stehen die Zeiger des Zifferblattes *(Fig. 137.)* auf dem leeren Felde.

Soll z. B. von Cöln aus telegraphirt werden, so rückt zuerst S' auf T und bringt dadurch die Cölner Batterie in Leitung, ihr Strom nimmt die Richtung vom Pole k aus über K, M, T, S', G, L Leitung, L', G', S'', R', N', E', Pl' Erde, Pl, E, Z, z Pol. Es stehen demnach der Wecker N' der Aachener Station und der Zeigermagnet M der Cölner Station unter dem Einfluß des Stromes.

Der Morse'sche Drucktelegraph, welcher namentlich in Amerika, aber auch in anderen Gegenden thätig ist, besteht im Wesentlichen aus dem Schreibapparat oder dem Räderwerk und aus dem Schlüssel oder dem Drücker. *Fig. 139.* liefert eine Ansicht von dem Schreibapparat. M stellt den Elektromagneten

Fig. 139.



bar, dessen Drahtgewinde mit dem Pole der Batterie, andererseits mit Messingsäulchen m verbunden ist.

Die beiden Eisenkerne p dieses Elektromagneten ragen etwas aus der Drahtrolle hervor. Der Anker a ist in einem Hebel H c t eingelassen, der seinen Drehpunkt in c hat und dessen verlängertes Ende t einen Stahlstift trägt. Letzterer dient dazu, die Signale zu schreiben oder zu drucken, indem er so lange gegen die vordere Walze o andrückt, als die Anziehung des Elektromagneten M gegen den Anker A fortwährt.

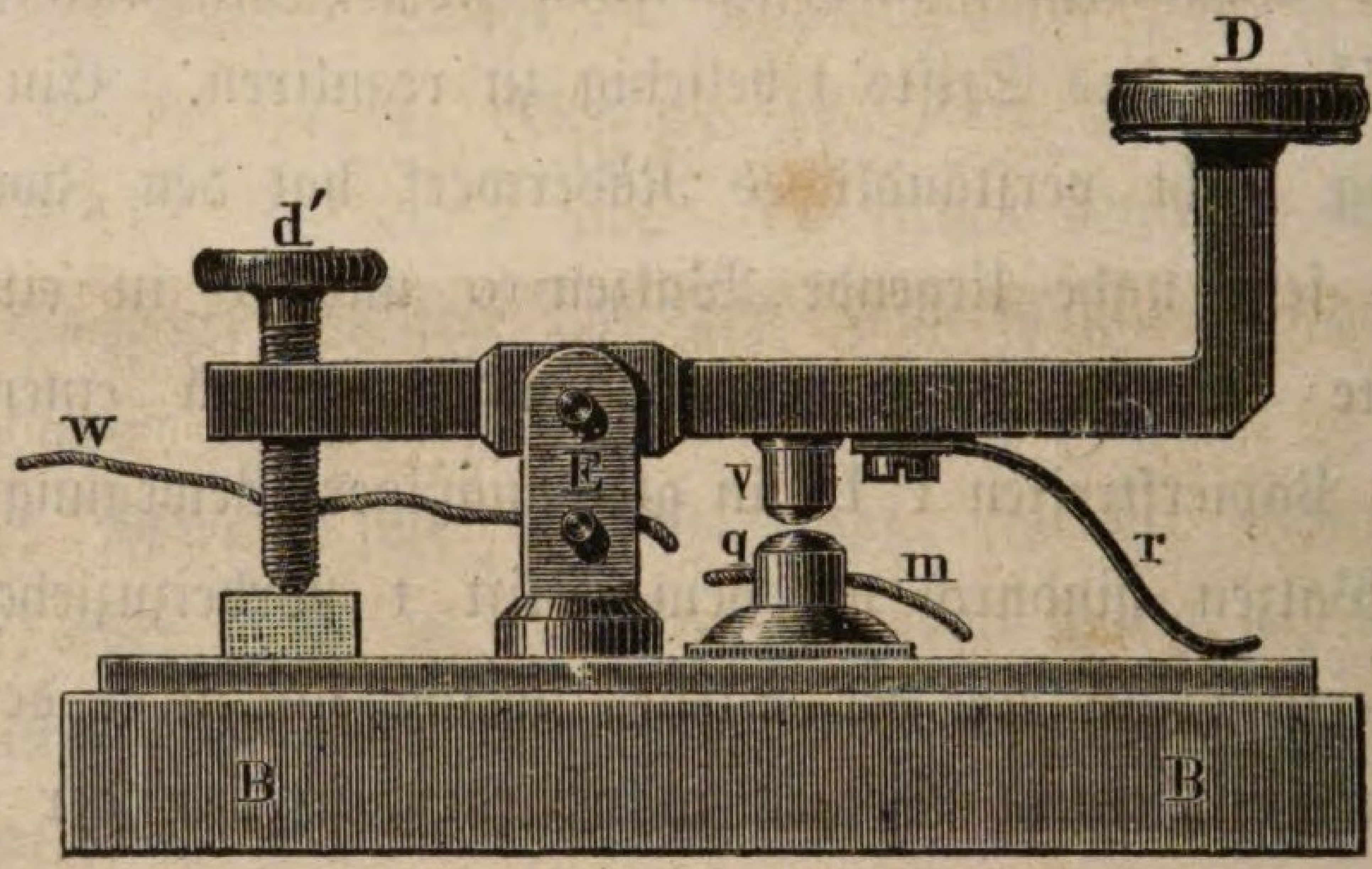
Die Schrauben i und d dienen dazu, die Bewegung des Hebels H und des Stifts t beliebig zu reguliren. Ein aus der Zeichnung leicht verständliches Räderwerk hat den Zweck, zwei einander sehr nahe liegende Walzen o und o′ in eine entgegengesetzte Bewegung zu versetzen und dadurch einen langen schmalen Papierstreifen P P′ in gleichmäßiger Bewegung zwischen diesen Walzen hindurch an dem Stift t vorbeizuziehen. Die Walze o ist genau an der Stelle, welche sich über dem Stifte t befindet, mit einem Riemen zu versehen, so daß der Stift bei seinem Aufsteigen das Papier, welches zwischen ihm und der eingekeilten Walze liegt, in diese Riemen hineindrücken und dadurch einen Eindruck in dasselbe machen kann. Ein Stift, welcher bei b eingesteckt wird, oder auch ein Frictionsstreifen, der auf die Stelle eines der Räder gelegt wird, hält das ganze Räderwerk während des Ruhezustandes in Stillstand; zieht man den Stift b heraus oder schlägt man den Frictionsreifen zurück, so setzt sich das Uhrwerk in Bewegung.

Die Signale bestehen aus Gruppen von Punkten oder Strichen. Sobald nämlich ein Strom den Elektromagneten umkreist, wird a angezogen, der Stift t wird in die Höhe geschnellt und macht in dem Papierstreifen einen Eindruck. Wird der Strom unterbrochen, so hört auch die Anziehung des Mag-

neten auf und die Feder p zieht an dem Hebelbaum c t den Stift zurück. Dauert aber der Strom nur einen Augenblick, so macht t einen Punkt, dauert er länger, so entsteht eine Linie. Unterbricht man den Strom eine kurze Zeit lang und stellt ihn darauf wieder her, so entsteht zwischen den Eindrücken des Papiers eine Lücke.

Diese verschiedenen Bewegungen werden durch den in *Fig. 139 A.* abgebildeten Schlüssel hervorgebracht; D ist der eigent-

Fig. 139 A.



liche Schlüssel, welcher aus einem Messinghebel besteht, der in der Messingsäule E seinen Drehpunkt hat und an seinem untern Ende einen Messinghammer v trägt, durch welchen er bei seinem Niedergehen mit dem darunter befindlichen Messingamboß q in Verbindung treten kann. Die Feder r sucht den Arm D stets aufwärts zu treiben.

Mit Hülfe der Schraube d′, welche durch den Druck von r beständig auf dem Elfenbeinstück n aufruht, läßt sich der Hebel D so tief herabbringen, daß der Hammer v mit dem Amboß q in inniger Berührung ist.

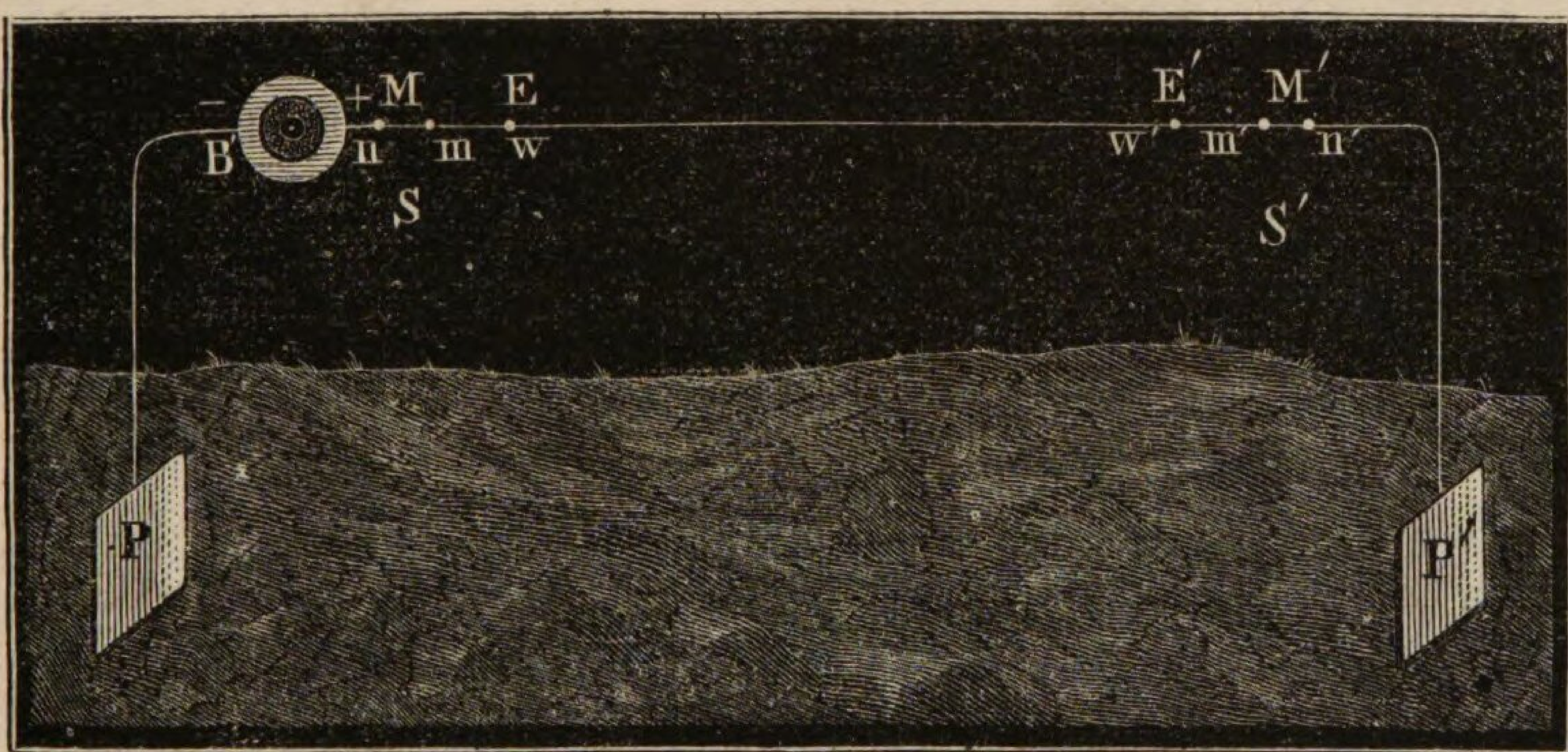
Diese Stellung nimmt der Schlüssel ein, wenn er nicht in Thätigkeit oder vielmehr geschlossen ist; im andern Falle, wenn

v mit q nicht in Berührung sich befindet, nennt man den Schlüssel offen.

Das von dem Elektromagneten M kommende und in dem Säulchen m festgeschraubte Ende des Umwindungsdrahtes steht durch den Zwischendraht m′ mit dem Amboß q des Schlüssels in Verbindung; in der Säule E ist dagegen das Ende w des von einer Station zur andern sich erstreckenden Leitungsdrahtes festgeschraubt.

Wenn der Apparat in Thätigkeit ist, davon giebt uns *Fig. 140.* eine Ansicht. S S′ sind zwei Stationen, B be-

Fig. 140.



zeichnet eine Batterie; M M′ Elektromagnete nebst ihrem Räderwerk, wie es in *Fig. 139.* abgebildet ist; E E′ den Schlüssel, n w′ den Leitungsdraht; P P′ Erdplatten, von denen P mit dem Pole der Batterie, P′ mit dem Umwindungsdrahte des Elektromagneten M′ in Verbindung steht.

In der Ruhelage sind die Schlüssel auch bei den Stationen geschlossen und es circulirt demnach der Strom der Batterie B ununterbrochen von q zu v und E, w u. s. w., überströmen auch die ganze Leitung und um die Eisenkerne von M M′.

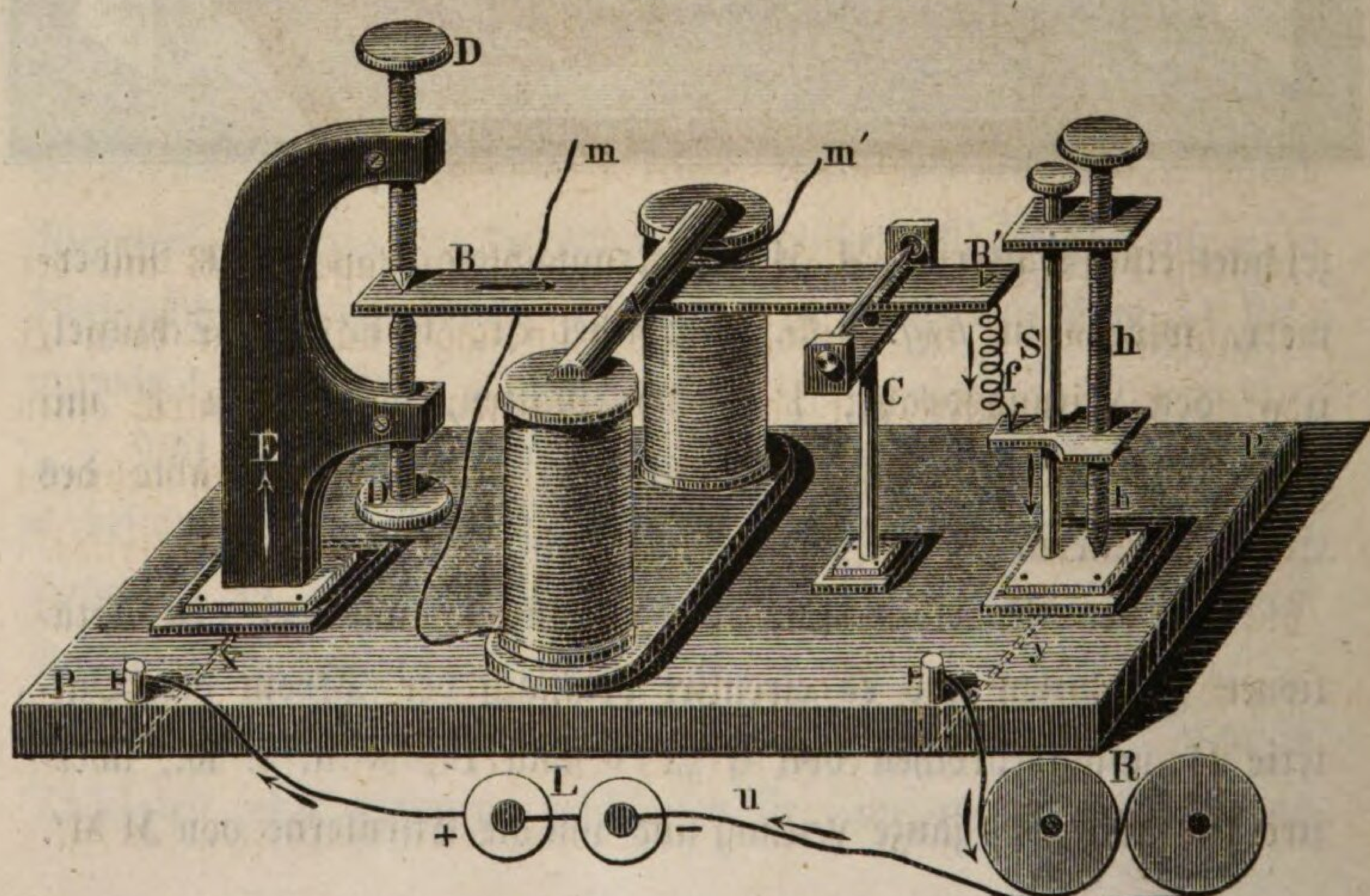
Die Anker a sind daher bleibend angezogen und die Schreibstifte t drücken gegen das Papier.

Soll nun von der Station S eine Depesche gegeben werden, so öffnet sie ihren Schlüssel durch Lüftung der Schraube d' und unterbricht dadurch den Strom. Darnach fällt der Anker a sowohl auf S' als auf S ab. Durch eine rasche Wiederholung des Oeffnens und Schließens des Schlüssels E D wird die Batterie abwechselnd geschlossen und geöffnet, und das Ende H des Ankers a eben so oft gegen die Stiftschraube t geschnellt. Dieses Hämmern des Ankers dient dem Telegraphisten auf der Station S' als Signal für den Anfang des Telegraphirens. Letzterer setzt also sein Räderwerk in Bewegung; der Papierstreifen P P' bewegt sich in Folge dessen langsam am Stifte t vorbei.

Eine Vorrichtung, auf welche die entfernte Leitungsbatterie einwirkt und die ihrerseits wieder die Localbatterie öffnet oder schließt, heißt der Uebertrager oder das Relais.

Am meisten wird die Einrichtung, namentlich in Amerika, Preußen, Hannover u. s. w. gebraucht, welche in der *Fig. 141.*

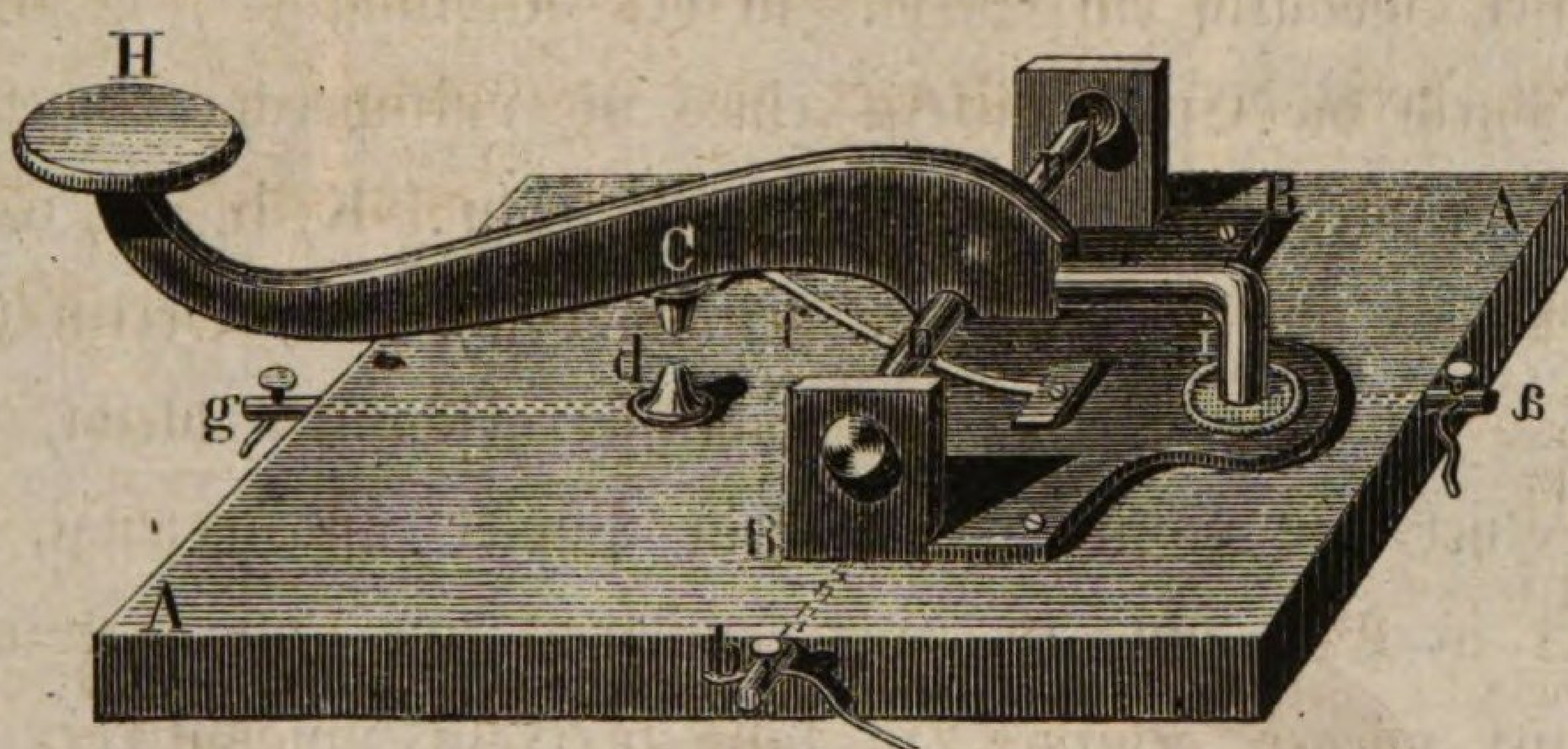
Fig. 141.



abgebildet ist. In dieser Vorrichtung sind die wesentlichsten Theile ein Electromagnet M M′, welcher mit sehr vielen Umwindungen eines feinen Kupferdrahts versehen ist; ein Anker A auf dem Hebel B B′ befestigt, eine Spiralfeder f, zwei Schrauben D D′, zwischen denen B liegt, zwei Metallstäbe E S, von denen unter der hölzernen Gestellplatte P P′ die Drähte x, y zu zwei Drahtklemmen, die das Relais mit der Localbatterie und dem Räderwerke *(Fig. 139.)* verbinden. R stellt den Electromagneten dieses Räderwerks, L die Localbatterie vor; die Art und Weise der Einschaltung dieser Theile in das Relais ist aus der Zeichnung ohne Weiteres verständlich.

Der Schlüssel hat beim Relais eine von der früheren etwas abweichende Form, wie aus *Fig. 142.* sich ergiebt. Der Drücker

Fig. 142.



H steht durch seine Drehachse n n und deren Lager B B mit der Drahtklemme b in beständiger Verbindung; außerdem kann er durch Niederdrücken mit dem Messingamboß d, der durch einen Draht mit der Klemme g verbunden ist, in Berührung gebracht werden, während er im Ruhezustande mit seinem Vorderende i auf einem mit a verbundenen Metallstück aufsteht; die Feder f drückt nämlich den Vorderarm H C stets aufwärts. In diesem Zustande, wo C von d getrennt ist, heißt der Schlüssel offen; im andern Falle, wenn C gegen d niedergedrückt wird, heißt er geschlossen.

Fig. 143. giebt ein Arrangement der drei Haupttheile des Räderwerks R, des Relais U und des Schlüssels Ch, sowie die Einschaltungsweise der Leitungsbatterie z', k", k', z" der Localbatterieen L und der übrigen Theile des Drahtverlaufs für zwei miteinander correspondirende Stationen, z. B. Berlin und Cöln.

Die einzelnen Theile des Relais sowie des Schlüssels sind mit denselben Buchstaben bezeichnet, wie in den letzteren Figuren.

KK bezeichnen die Erdplatten, z und k Leitungsdrähte,

In dem Ruhezustande ist der Schlüssel auf beiden Stationen offen und dadurch ist sowohl jede Localbatterie als auch jede Leitungsbatterie offen.

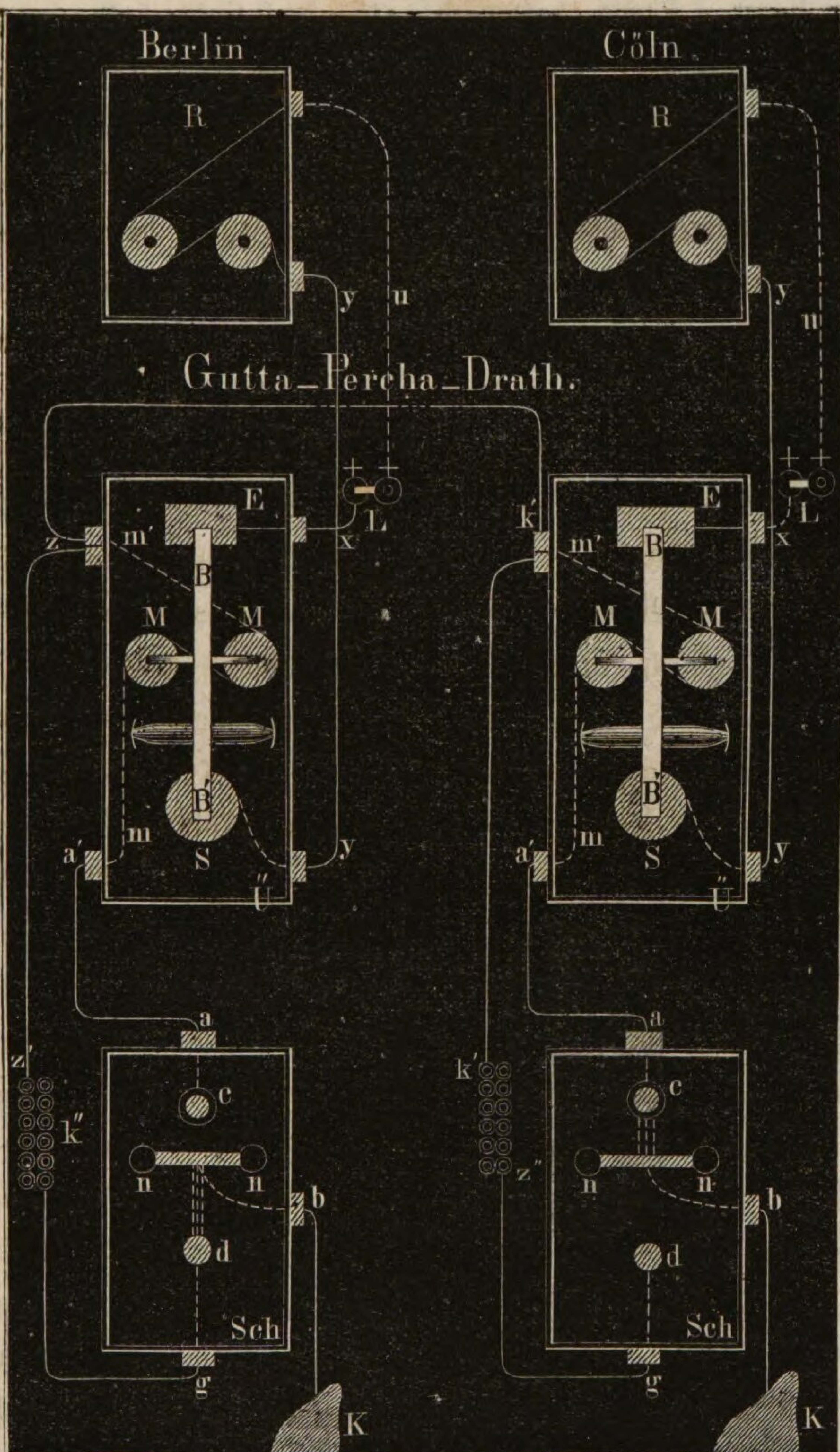
Soll von Berlin aus eine Depesche abgegeben werden, so drückt der Telegraphist den Griff H nieder und schließt den Schlüssel, wodurch ein Strom in der Richtung k", g, d, n n, b, K durch die Erde mittelst eines in Guttapercha eingehüllten Leitungsdrahtes nach Cöln geht. In Cöln: K, b, n n, c, a, a', m, MM, m und k durch den Leitungsdraht nach Berlin zurück.

So lange in Berlin der Schlüssel geschlossen bleibt, drückt der Cölner Schreibstift gegen sein Papier und erzeugt, wenn letzterer in Bewegung ist, auf demselben eine Linie. Wird der Schlüssel wieder geöffnet, so fällt in Cöln zunächst der Anker des Relais wieder ab, in Folge dessen aber wird die Localbatterie L wieder geöffnet und der Schreibstift fällt ab.

Ein rasch hintereinander folgendes Hämmern dient als Signal für den Beginn des Telegraphirens.

In England sind besonders die Nadeltelegraphen verbreitet, bei denen Alles von der Wirkung des elektrischen Stroms auf die Magnetnadel abhängt. Zwei Nadeln befinden sich Außen und zwei im Innern, welche letztern mit den erstern in Verbindung stehen, so daß diese alle Bewegungen der ersteren mit-

Fig. 143.



Berlin
Cöln
Gutta_Percha_Drath.
R
y
u
E
L
x
z
m'
k'
B
M
S
m
a'
Ü
a
z'
k''
z''
c
n
b
d
Sch
g
K

machen. Um jede der inneren Nadeln macht ein Leitungsdraht eine Anzahl Windungen, natürlich ohne sie zu berühren, und da man nun den Strom bald von rechts nach links, bald umgekehrt, bald um nur eine Nadel, bald um beide spielen lassen kann, so lassen sich eine Reihe verschiedener Nadelstellungen bewerkstelligen, welche nicht nur für das Alphabet, sondern auch für mehrere andere Zeichen ausreichen. Wird z. B. der linke Zeiger zweimal links bewegt, so ist dies a, dreimal bewegt b, einmal rechts, einmal links c u. s. w. Das Telegraphiren geht dabei so schnell, daß man in der Minute gegen 90 Buchstaben geben kann, also fast so viel, als ein nicht zu gewandter Schreiber schreibt.

Das Verfahren ist so einfach, daß man in England 12—14jährige Knaben zu Telegraphisten verwendet. Indeß erfordert das Lesenlernen der rasch sich folgenden Nadelbewegung immer eine Studienzeit von einigen Wochen. Ein Uebelstand der Nadeltelegraphie liegt ferner darin, daß ihre Zeichen vergänglich sind und man auf die Beobachtung des Telegraphisten sich verlassen muß.

Fig. 144.

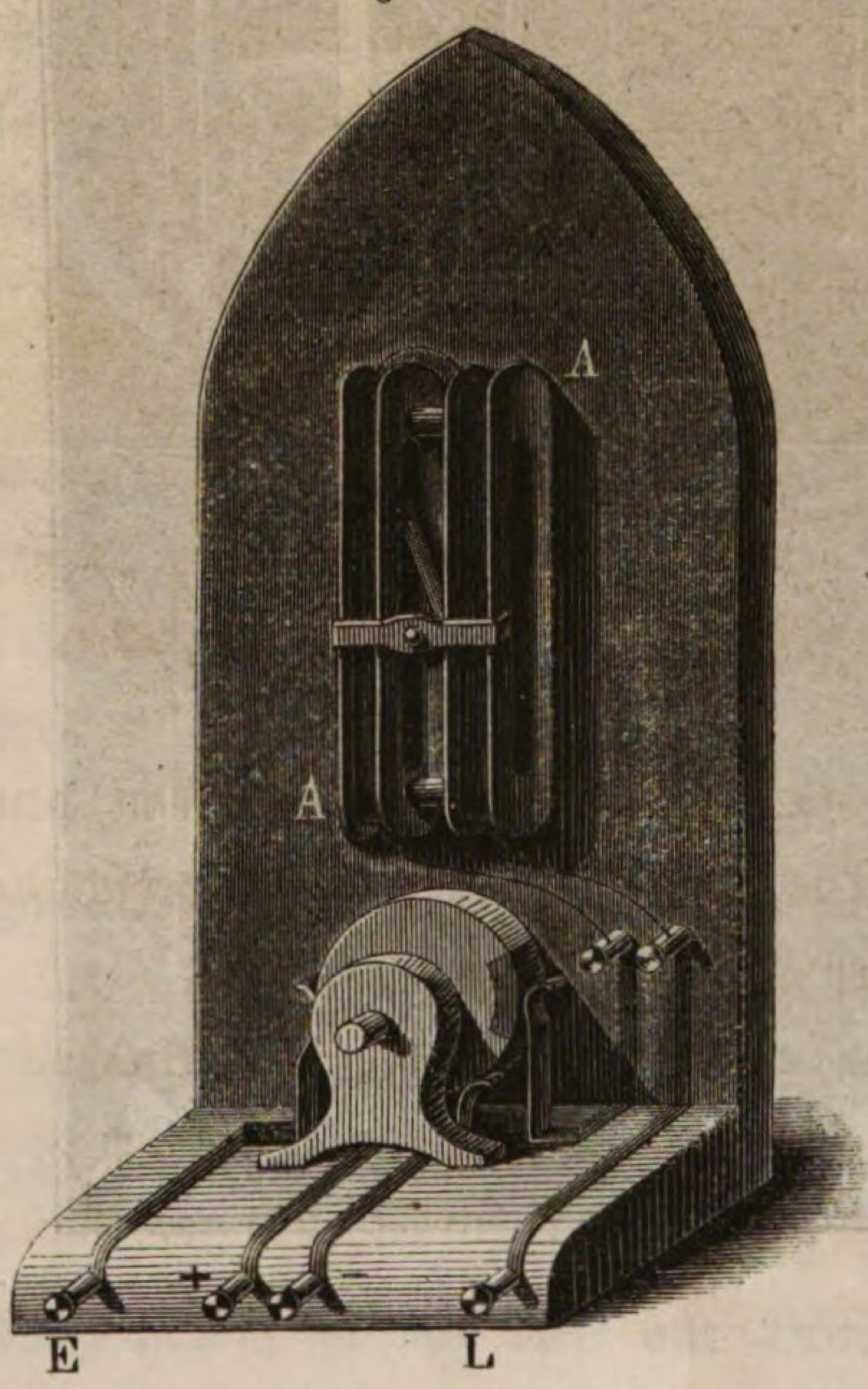
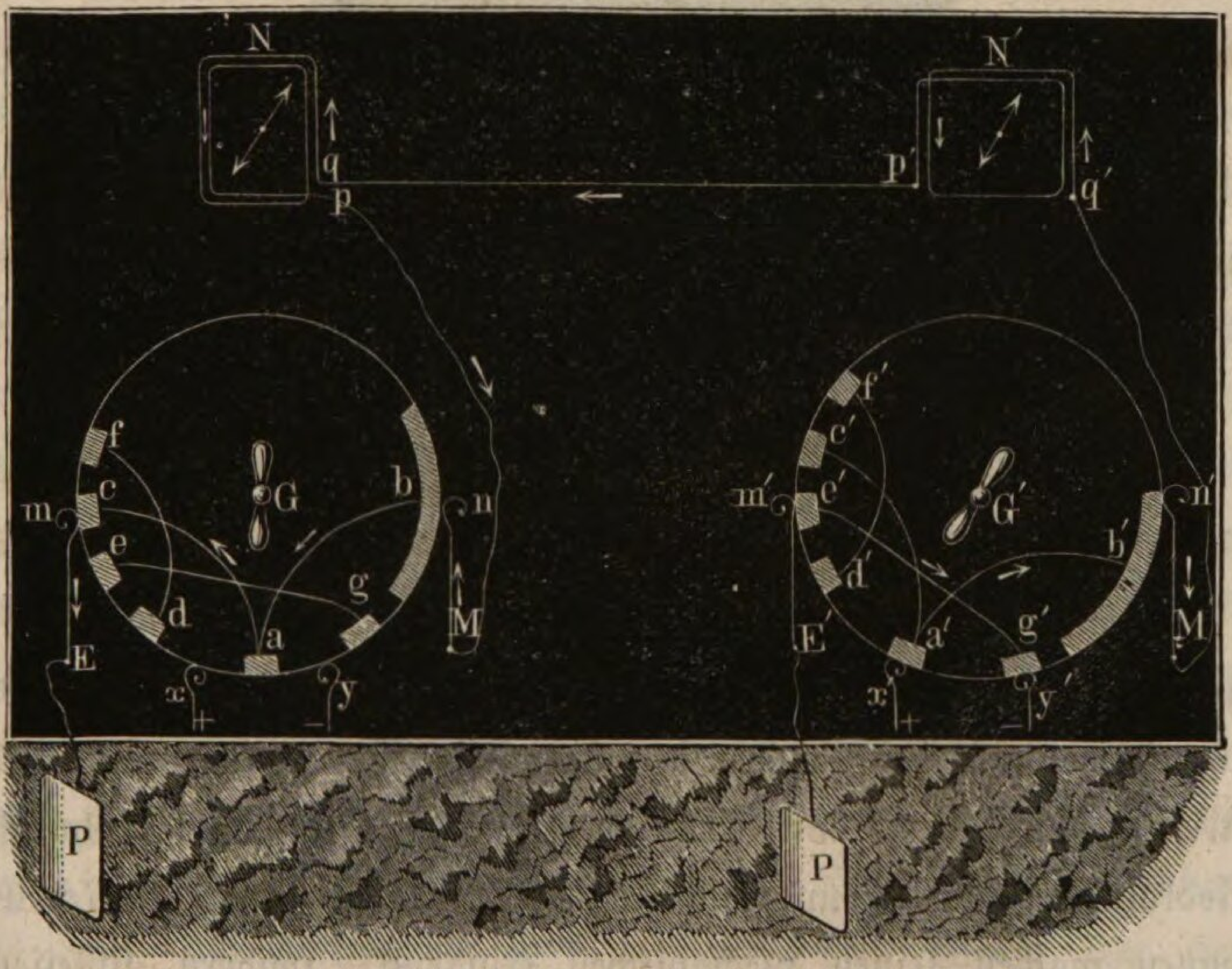


Fig. 144. zeigt die innere Einrichtung eines Nadeltelegraphen und zwar bezeichnet A einen Multiplicator, welcher durch einen etwa 400 Fuß langen Kupferdraht und dünnen Messingblech ge-

bildet ist. Eine horizontale durch die Mitte des Rahmen hindurchgehende Achse trägt zwei Magnetnadeln, von denen eine innerhalb des Rahmens liegt und die andere sich auf der Vorderseite des Kastens befindet; die eine hat den Nord-, die andere den Südpol nach oben gekehrt.

Der wichtigste Theil des Apparats ist der sogenannte Schlüssel *(Fig. 145.)*, der durch die Drehung des Handgriffes G in Bewegung gesetzt wird und für den Lauf des Stromes

Fig. 145.

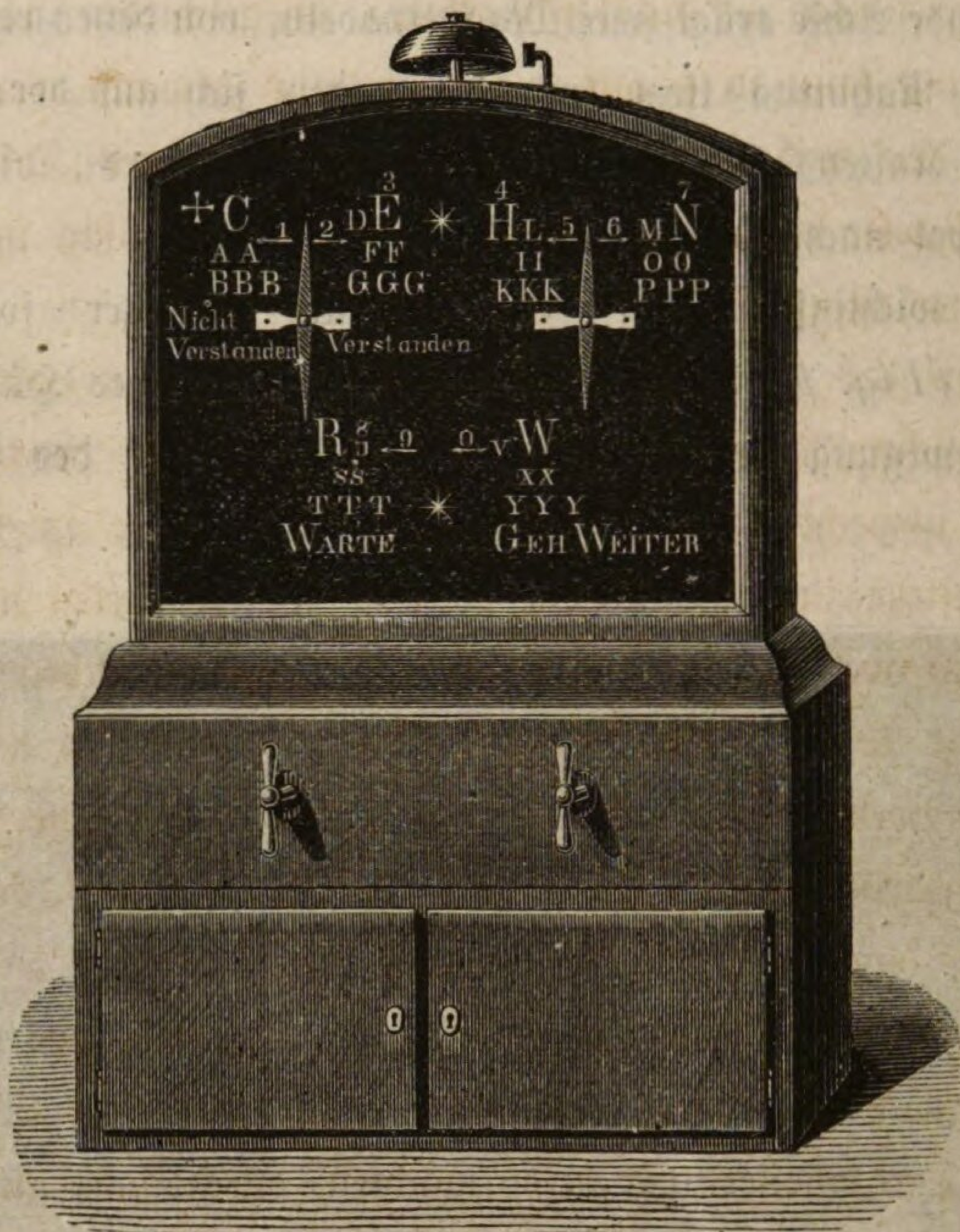


sorgt. — N N und N N′ sind Multiplicatordrähte, von denen der Strom ausgeht. — Die Zeichen werden durch verschiedenartig vereinigte Schläge der Nadel gegeben.

Gewöhnlich gebraucht man in England Doppelnadeltelegraphen, von denen *Fig. 146.* eine Vorder-Ansicht liefert.

Besonders erwähnenswerth ist noch im Allgemeinen, daß es besondere Einrichtungen giebt, welche man elektro-chemische Tele-

Fig. 146.



graphen nennen kann, weil hier die zersetzende Kraft des Stromes zur Herstellung der Zeichen benutzt wird. Der laufende Papierstreif ist hier feucht mit einer chemischen Flüssigkeit, gewöhnlich Jodkalium, getränkt und die sich darauf niederlegenden Metallspitzen machen keinen mechanischen Eindruck, sondern schleifen nur leicht über das Papier hin und erzeugen dabei auf demselben Striche und Punkte, eine dunkle, violette oder braune Färbung; hier sind sowohl die zeichnenden Metallkörper, als die metallenen der Unterlage, über welche das Papier weggezogen wird, Theile der Kette selbst. So lange die Spitzen über dem Papiere schweben, ist die Kette geöffnet und die Wirkung aufgehoben; senken sie sich, so ist die Kette geschlossen und die Zer-

setzung des Jodkaliums erfolgt bei der Berührung augenblicklich, indem freies Jod in dunkler Färbung ausgeschieden wird. Die Vorrichtung kann so genau und empfindlich gemacht werden, daß ein auf den beiden Telegraphirkasten geschlagener Triller zwei Reihen Punkte erzeugt, die ganz eng und regelmäßig stehen, wie die gegenwärtigen.

Uebrigens giebt es noch andere Mittel zur Uebertragung telegraphischer Nachrichten. Eine der einfachsten Vorrichtungen, Ströme abwechselnd zu unterbrechen und wieder in Gang zu setzen, besteht in einer in die Leitung eingeschalteten metallenen Walze, in welche in gleichen Abständen Holzstückchen eingelegt sind. Die Walze steht mit dem einen Drahtende in beständiger leitender Verbindung, während das andere durch eine Feder an dasselbe gedrückt wird. Wird nun die Walze gedreht, so begreift sich leicht, daß der Strom unterbrochen wird, sobald das Drahtende auf einer Holzeinlage schleift. Denken wir uns nun, an der andern Station sei eine andere ganz metallene Walze von gleichem Durchmesser und beide machten, durch ganz gleiche Uhrwerke getrieben, ihren Umlauf genau in derselben Zeit; denken wir uns ferner, die letztere Walze sei irgendwie für Aufnahme von Zeichen empfänglich gemacht, also etwa dadurch, daß ein mit Jodkalium gefeuchtetes Stück Papier um sie geschlagen ist, und endlich, daß die Zapfen dieser Walze Schraubengänge haben, so muß sich nothwendig auf der entfernten Walze eine den Schraubengängen entsprechende Spirallinie bilden, und die ausgefallenen Stellen werden genau die Lage der Holzeinsätze in der ersten Walze erkennen lassen. Denkt man sich nun aus dieser das Holz weg und ihre Oberfläche vollkommen metallisch, so kann man auf dieser Fläche mit harziger, also nicht leitender Deckfarbe beliebige Buchstaben und Zeichen entwerfen, welche dann am andern Ende auf farbig liniirtem Grunde weiß ausgespart

zum Vorschein kommen werden. Kehrt man die Sache um, macht man die ganze Fläche nichtleitend und nur die zu gebenden Zeichen leitend, so werden diese am andern Ende gezeichnet werden und nicht der Grund.

Die ersten elektrischen Telegraphen wurden durch Gaus und Weber hergestellt und zwar im Jahre 1833. Später machten sich Steinheil, Stöhrer, Cooke, Wheatstone, Brett und Morse um die Vervollkommnung besonders verdient. England und Nordamerika haben die elektromagnetische Telegraphirkunst zuerst in großem Maßstabe angewandt, worauf sie dann auch in Deutschland, zunächst bei den Eisenbahnen benutzt wurde, und es ist selbst, wie die neueste Zeit lehrt, das Meer kein ferneres Hinderniß für die Telegraphirkunst geblieben; die Hauptsache ist dabei, daß die Leitungsdrähte gut isolirt, d. h. gegen die Einwirkung des Wassers geschützt sind.

Elektrische Uhren. Diese Apparate beruhen auf demselben Princip wie die elektrischen Telegraphen. Die Einrichtung besteht im Wesentlichen darin, daß eine gewöhnliche Pendeluhr als Normaluhr mit einer elektrischen Batterie so verbunden ist, das bei jedem Hin- und Hergange des Pendels abwechselnd eine Unterbrechung und Wiederherstellung des elektrischen Stromes eintritt. Eine Drahtleitung führt diesen Strom nach den etwa auf den Thürmen oder in andern öffentlichen oder Privatgebäuden einer Stadt angebrachten galvanischen Uhren, welche weder Pendel noch Gewichte, sondern statt dessen einen kleinen Elektromagneten haben, der bei dem abwechselnden Schließen und Oeffnen der Kette den vorliegenden Anker anzieht und losläßt, wodurch ein mit 60 Zähnen versehenes Rädchen jedes mal um einen Zahn fortgeschoben wird, und folglich auch der mit demselben verbundene Sekundenzeiger um den 60sten Theil des ganzen Kreises wirkt. Zugleich ist ein Räderwerk angebracht, welches

die Bewegung des Sekundenzeigers auf den Minuten- und Stundenzeiger überträgt.

Elektro-magnetische Rotationen.

Angenommen, der elektrische Strom durchlaufe einen Draht in der Richtung von der vorderen nach der hinteren Seite, so wird der Nordpol einer über, unter oder neben dem Draht angebrachten Magnetnadel in der Richtung abgelenkt, während der Südpol gerade nach der entgegengesetzten Richtung abgelenkt wird. Es ist demnach zu vermuthen, daß der elektrische Strom den Nordpol, wenn er sich frei bewegen könnte, in einem Kreise um den Draht in der Richtung, welche die Pfeile zeigen, den Südpol aber in der entgegengesetzten Richtung herumführen würde, wie dies auch durch mehrfache Versuche bestätigt worden ist.

Elektrische Induction.

Der Entladungsstrom einer elektrischen Flasche ruft in einem benachbarten geschlossenen Leiter einen elektrischen Nebenstrom hervor, welcher, wenn auch in schwächerem Maße, alle Erscheinungen des Hauptstromes zeigt. Dasselbe ist auch dann der Fall, wenn in der Nähe eines geschlossenen Leiters ein galvanischer Strom entsteht, oder verschwindet, oder wenn dem Leiter ein elektrischer Strom genähert oder von demselben entfernt wird. Man hat den durch Einwirkung eines elektrischen Stromes entstehenden secundären Strom den inducirten, den primären Strom aber den inducirenden genannt.

Um sich von dem durch einen galvanischen Strom inducirten Nebenstrom zu überzeugen, umwindet man zwei hölzerne Spulen, jede mit 100 und mehren Fuß umsponnenem Kupferdraht. Bringt man nun die Enden der einen Rolle mit den Polen einer galvanischen Batterie, die Enden des Drahts der andern Rolle mit

den Enden des Drahts eines Multiplicators in leitende Verbindung, so erleidet die Multiplicatornadel eine Ablenkung, so wie man die eine Rolle der andern nähert. Die Nadel kehrt zu ihrer normalen Lage zurück, wenn man die Rollen einander nicht weiter nähert, erfährt aber eine Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite, wenn man die Drahtrollen von einander entfernt.

Hat man die Rollen einander genähert und die Drähte der einen Rolle mit den Drähten des Multiplicators verbunden und bringt man erst jetzt die Drähte der andern Rolle mit den Polen der galvanischen Batterie in Verbindung, so erleidet die Nadel des Multiplicators in dem Augenblicke, in welchem die Kette geschlossen, also der inducirende Strom hervorgerufen wird, eine Ablenkung nach derselben Seite, nach welcher sie vorher bei Annäherung der Rollen abgelenkt wurde, und sie erfährt eine Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite in dem Augenblick, in welchem man die Kette öffnet.

Die Ablenkung der Magnetnadel beweist, daß der bei der Annäherung des inducirenden Stroms oder bei Schließung der Kette entstehende inducirte Strom die entgegengesetzte Richtung von dem inducirenden, der aber bei Entfernung des inducirenden Stroms oder bei Oeffnung der Kette entstehende inducirte Strom die nämliche Richtung wie der inducirende Strom hat.

Wirkung der Erde und der Magnete auf die Ströme.

Sowie der Strom eine Wirkung auf den Magneten hervorbringt, so ist dies auch umgekehrt der Fall. Sind z. B. zwei verticale Säulen von Messing auf einem Fuß von Holz befestigt und tragen dieselben horizontale Arme, die mit Quecksilbernäpfchen endigen, und werden nun die Füße der Säulen mit den Polen der Kette in Verbindung gesetzt, so gelangt eine der elektrischen Flüssigkeiten zu dem einen Näpfchen, die andere zu dem zweiten.

Eins dieser Näpfchen kann man das positive und das andere das negative nennen. Nähert man nun die eine Seite dem Pol eines kräftigen Magneten, so wird das Rechteck eine Ablenkung erfahren, welche natürlich derjenigen gerade entgegengesetzt ist, die der festgehaltene, von dem elektrischen Strome durchlaufene Draht auf den beweglichen Magnetpol ausüben möchte und sich daher nach der Ampère'schen Regel sehr leicht bestimmen läßt.

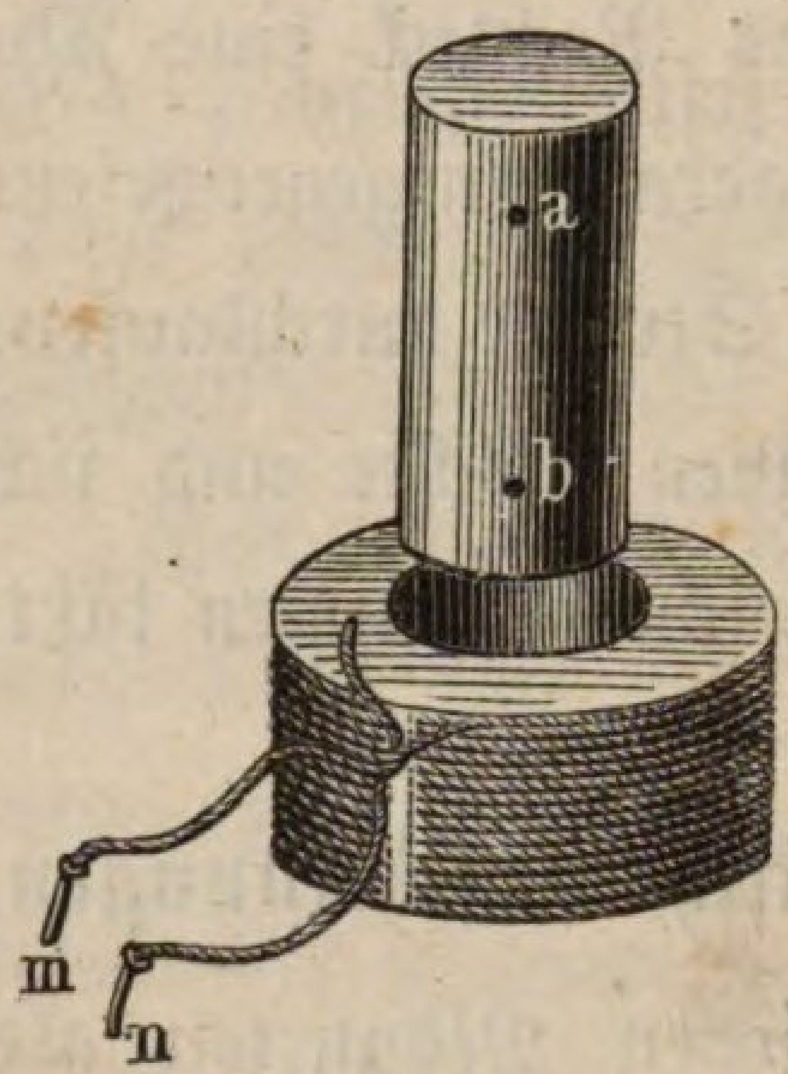
Magnetische Induction oder magnetelektrische Erscheinungen.

Nach Ampère hat man sich einen jeden Magneten als einen Körper vorzustellen, dessen Theile von gleichgerichteten elektrischen Strömen umkreist werden und deren Ebenen auf der Achse des Magneten senkrecht stehen. Hiernach müssen in einem Leiter der Elektricität sowohl bei Annäherung, als bei Entfernung eines Magneten elektrische Ströme erzeugt werden. Dasselbe muß ferner stattfinden, wenn in einem Stabe aus weichem Eisen, welcher sich in der Nähe eines Leiters der Elektricität befindet, vorübergehender Magnetismus erregt wird, oder wieder aufhört. So wie nun ein Magnet dem Leiter oder bei der Erregung des Magnetismus in weichem Eisen genähert wird, muß der in dem benachbarten Leiter entstehende inducirte Strom die entgegengesetzte Richtung von den Strömen haben, von welchen wir nach Ampère uns den Magneten umkreist denken; so wie aber der Magnet entfernt wird, oder die Erregung des Magnetismus in weichem Eisen aufhört, muß der in einem benachbarten Leiter entstehende inducirte Strom mit den den Magneten umkreisenden Strömen gleiche Richtung haben.

Um das hier Gesagte zu beweisen, braucht man nur auf der einen Seite einen mit Seide umsponnenen Metalldraht um eine hölzerne oder metallene Kugel zu wickeln, deren innere Oeffnung so groß ist, daß man einen Magneten hineinstecken

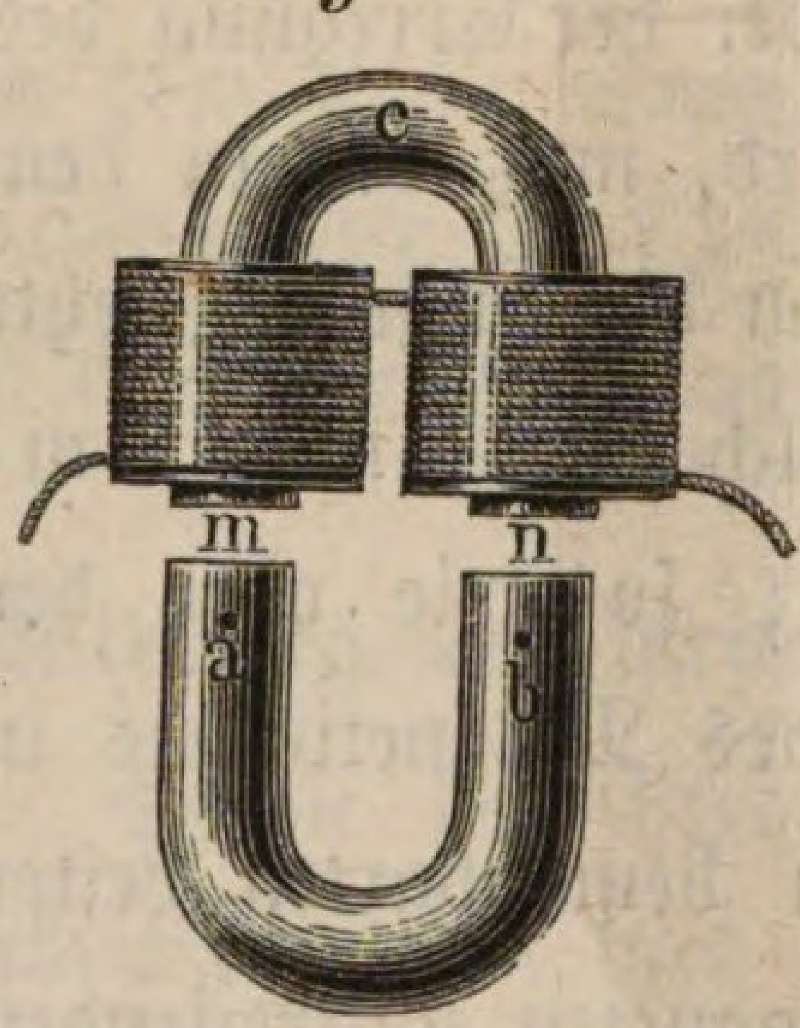
kann. *(Fig. 147.)* Die beiden Enden m und n des Drahtes werden dann mit den Enden eines Multiplicatordrahts eines Galvanometers in Verbindung gebracht, welcher hinlänglich weit entfernt ist, daß der Magnet selbst nicht ablenkend auf die Nadel des Instruments wirkt. In dem Augenblick, in welchem man den Magneten in die Spule hineinsteckt, bemerkt man auch eine Ablenkung der Galvanometernadel, die jedoch bald wieder auf den Nullpunkt der Theilung zurückkehrt, um von Neuem und zwar nach der entgegengesetzten Richtung sich zu bewegen, wenn man die Spule zurückzieht. Die Richtung des Stroms, welchen das Galvanometer bei der Annäherung des Magneten anzeigt, ist der Richtung der Ströme entgegengesetzt.

Fig. 147.



Man nimmt auf der andern Seite einen starken Hufeisenmagneten *(Fig. 148.)* und ein weiches Stück Eisen, welches ebenfalls hufeisenförmig gebogen ist, dessen Schenkel aber mit vielfachen Windungen ein und desselben sehr langen mit Seide übersponnenen Drahts bedeckt sind. Die beiden Enden des Drahts werden in hinreichender Entfernung vom Eisen und Magneten verbunden, und eine einfache Magnetnadel, über oder unter welcher man den Draht hinleitet, wird schon durch den inducirten Strom abgelenkt. Wenn man nun den Magneten a b rasch den Schenkeln des Eisenkerns m n nähert, so zeigt die Nadel einen Strom an, welcher die entgegengesetzte Richtung von dem hat, welcher nach der Ampère'schen Theorie das weiche, nun zum Magneten gewordene Eisen umkreist. Beim Entfernen

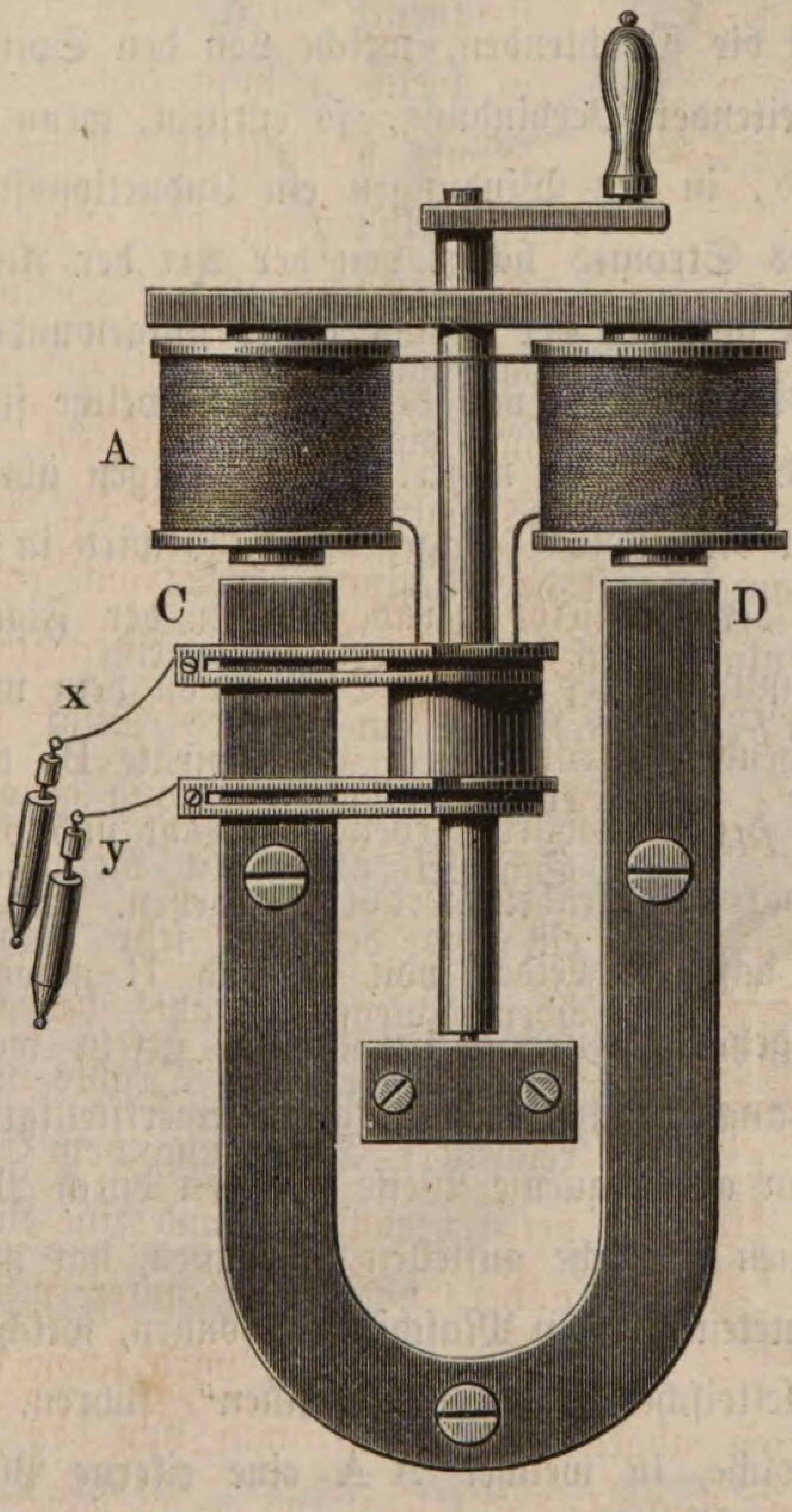
Fig. 148.



des Magneten hat der inducirte Strom gleiche Richtung mit dem des weichen Eisens.

Denkt man sich die Enden zweier Inductionsspiralen A und B an den beiden Enden einer Eisenplatte befestigt *(Fig. 149.)*,

Fig. 149.



deren Mitte auf einer horizontalen Achse aufsitzt, und gehen während der Rotation die beiden Eisenkerne an den Polen

C und D eines kräftigen Hufeisenmagneten vorüber, so wird jeder Eisenkern dadurch abwechselnd in einen Nordpol und dann wieder in einen Südpol verwandelt.

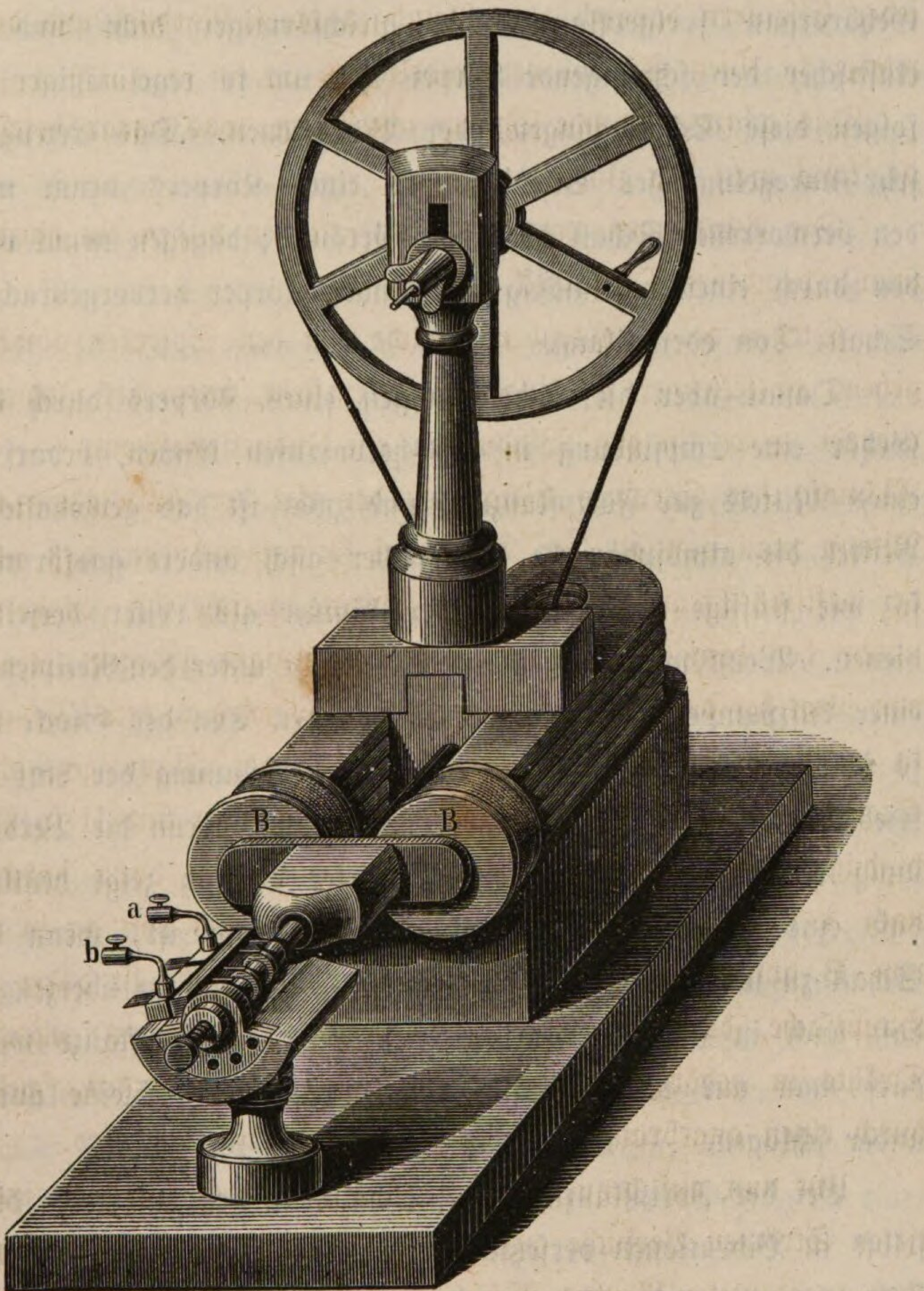
Das ganze rotirende System mit Allem, was daran befestigt ist, kann man den Inductor nennen.

Die Windungen von beiden Eisenkernen bilden ein einziges ununterbrochenes Drahtstück.

Stehen die Drahtenden, welche von den Spiralen abwärts gehen, in leitender Verbindung, so entsteht, wenn der Inductor gedreht wird, in den Windungen ein Inductionsstrom. — Die Richtung des Stromes hängt von der Art der Aufwindung ab. Nimmt man nun an, der Draht sei so aufgewunden, daß bei x der positive Strom stets von der Spirale, welche sich gerade von unten her dem Pole D nähert, zu derjenigen übergeht, welche von oben her dem Pole C entgegengeht, so wird in dem Moment, in welchem der Inductor gerade die in der Figur gezeichnete Stellung einnimmt, der positive Strom von dem mit B in Verbindung stehenden Draht durch die Spirale B, dann durch x nach A und dessen abwärts gehenden Draht und von da in den von B abwärts laufenden Draht übergehen. Es ist daher die Hauptsache, daß die beiden von A und B abwärts gehenden Drähte in gehörig leitende Verbindung gesetzt werden, welche durch einen angebrachten Commutator bewerkstelligt wird.

Um nun auf bequeme Weise mit den durch Magnete inducirten Strömen Versuche anstellen zu können, hat man nach dem eben angedeuteten Princip Maschinen ersonnen, welche den Namen „magneto-elektrische Rotationsmaschinen“ führen. *Fig. 150.* zeigt eine solche, in welcher A A eine eiserne Platte vorstellt, welche die eisernen Kerne der beiden Drathrollen trägt.

Fig. 150.



Vom Schall.

Mit dem Worte „Schall" bezeichnet man im Allgemeinen die Eindrücke, die wir durch unser Gehör erhalten. Er wird erzeugt, wenn die kleinsten Theilchen eines Körpers, deren natürliche Anlagerung durch irgend einen Anstoß gestört wurde, zu ihrer Gleichgewichtslage zurückkehren und diese Schwingungen

werden durch einen oder mehre andere Körper bis zu unserem Gehörorgan fortgepflanzt. Je gleichförmiger dicht und je elastischer der schwingende Körper ist, um so regelmäßiger erfolgen diese Schwingungen oder Vibrationen. Das Erzeugniß sehr unregelmäßiger Schwingungen eines Körpers nennt man den verworrenen Schall oder das Geräusch; dagegen nennt man den durch einen regelmäßig vibrirenden Körper hervorgebrachten Schall: Ton oder Klang.

Damit aber die Schwingungen eines Körpers durch das Gehör eine Empfindung in uns hervorrufen können, bedarf es eines Mittels zur Fortpflanzung und zwar ist das gewöhnlichste Mittel die atmosphärische Luft; aber auch andere gasförmige, so wie flüssige und feste Körper können als Leiter derselben dienen. Wenn wir dagegen eine Schlaguhr unter den Recipienten einer Luftpumpe stellen, so werden wir den Ton der Glocke um so schwächer vernehmen, je weiter die Verdünnung der Luft getrieben wird, und er verstummt endlich ganz, wenn die Verdünnung einen hohen Grad zeigt. Dieser Versuch zeigt deutlich, daß eine ununterbrochene Leitung nothwendig ist, wenn der Schall zu unserem Ohre gelangen soll. Um sich zu überzeugen, daß auch in flüssigen Körpern der Schall fortgepflanzt wird, darf man nur unter Wasser tauchen und zwei Steine aneinander schlagen.

Bei der Fortpflanzung des Schalls in der Luft wird diese selbst in Vibrationen versetzt. Mit jeder Schwingung nämlich stößt ein vibrirender Körper die Luft bald nach der einen, bald nach der andern Richtung fort und verursacht dadurch, daß die Luft vermöge ihrer Zusammendrückbarkeit abwechselnd auf der einen Seite verdichtet und auf der entgegengesetzten Seite verdünnt wird. Die verdichtete Luft wirkt selbst auch wieder verdichtend auf ihre Nachbartheilchen, indem sie sich ausdehnt, um zu ihrer ursprünglichen Dichte zurückzukehren; umgekehrt folgt

jeder Verdünnung eines Theils der Luft eine Verdünnung der benachbarten Theile, sobald die Lufttheilchen von allen Seiten herzuströmen, um den Verlust der verdünnten Luft zu ersetzen. Auf diese Weise pflanzen sich die auf einander folgenden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft ähnlich den Wellenbergen und Wellenthälern des Wassers fort und bilden sogenannte Schallwellen.

Wie die Wasserwellen in Kreisen sich verbreiten und in dem Maße schwächer werden, als sie sich vom Mittelpunkte entfernen, bis sie endlich dem Auge ganz verschwinden, so bilden die Schallwellen in ruhiger Luft Kugeloberflächen von stets wachsendem Halbmesser und ihre Stärke nimmt in dem Verhältniß ab, als das Quadrat der Entfernung vom Entstehungspunkt oder das Quadrat des Kugelhalbmessers wächst. Hieraus ergiebt sich, daß die Stärke des Schalls in umgekehrtem Verhältniß steht, wie das Quadrat der Entfernung, d. h. wenn wir uns den Schall von seinem Entstehungsort in doppelter Entfernung denken, so ist er viermal schwächer, als in der einfachen Entfernung. Da nun, wie schon angedeutet worden, im Allgemeinen der Schall mit um so größerer Stärke fortgepflanzt wird, je dichter das Fortpflanzungsmittel ist, so muß dies auch für die Luft gelten. Die Schallstärke steht demnach in geradem Verhältniß zur Dichte der Luft, daher denn auch ein Schuß im Thale stärker knallt, als auf hohen Bergen, die Stimme im Winter kräftiger klingt, als im Sommer, der Gesang in einem kalten Zimmer voller klingt, als in einem warmen.

Werden die Schallwellen gezwungen, sich nur nach einer Richtung hin fortzupflanzen, statt sich nach allen Seiten zu verbreiten, so nimmt ihre Stärke viel langsamer ab, und der Schall bleibt mithin auf weit größere Entfernung hörbar. Diese Entfernung, in welcher der Schall noch gehört wird, hängt unter sonst gleichen Umständen von der anfänglichen Stärke der Schallwellen und daher von der Masse des Körpers, der den

Schall erzeugt, und von der Größe und Geschwindigkeit seiner Schwingungen ab; deshalb hört man eine Kanone weiter, als eine Pistole. Ein Kanonenschuß kann z. B. 20—30 Meilen, ein Pistolenschuß ungefähr eine Stunde, die menschliche Stimme nicht leicht über 800—1000 Fuß weit gehört werden.

Der Schall verbreitet sich in ruhiger Luft mit gleichförmiger Geschwindigkeit. Man hört daher in doppelter Enefernung einen Schall in der doppelten Zeit.

Der Druck der Luft hat keinen Einfluß auf die Geschwindigkeit des Schalls, weshalb der Schall in höheren Luftschichten sich ebenso rasch fortpflanzt, als in tiefer liegenden. Dagegen wird die Geschwindigkeit des Schalls durch eine Zunahme der Temperatur vergrößert und durch eine Abnahme derselben vermindert, weshalb sich demnach der Schall im Sommer weiter fortpflanzt, als im Winter. Die Natur des Schalls kommt bei der Fortpflanzung der Geschwindigkeit nicht in Betracht, denn der heftigste Knall pflanzt sich nicht schneller fort, als ein Glockenschlag; der höchste Ton einer Flöte pflanzt sich nicht schneller fort, als der Ton einer Baßgeige.

Die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft bei 0^0 Temperatur beträgt 1050 Pariser Fuß in der Secunde. Wasser leitet den Schall ungefähr 4mal, Gußeisen 10mal, Glas 17mal schneller, als die Luft.

Während das Licht in der Secunde 42,500 Meilen zurücklegt, so ist die Entfernung von dem Entstehungsorte des Schalls die zwölffache, weshalb wir denn das Licht des Feuers beim Abschießen einer Kanone weit eher sehen, als wir den Schall hören.

Stoßen Schallwellen gegen eine feste Wand, so werden sie nach demselben Gesetz zurückgeworfen, wie alle elastischen Körper, d. h. der Einfalls- und der Ausfallswinkel jedes einzelnen Lufttheilchens sind gleich groß, und es bilden sich dadurch von Neuem Wellen, aber von entgegengesetzter Richtung, deren Mittelpunkt

eben so weit hinter der festen Wand liegt, als die wirkliche Quelle des Schalls vor derselben. Der Zurückwerfung der Schallwellen verdanken wir das Echo oder den Wiederhall. Das Echo entsteht, wenn die feste Wand, an der die Schallwellen zurückprallen, so weit entfernt ist, daß der zurückgeworfene Schall von dem ursprünglichen deutlich unterschieden werden kann. Folgt das Echo dem Hauptschall so schnell, daß nicht die geringste Unterbrechung zwischen beiden bemerkbar ist, so bezeichnet man dies mit dem Namen Nachhall.

Der Schall legt in der Secunde einen Weg von 1050 Fuß, also in $^1/_9$ Secunde $1050/_9$ oder $116^2/_3$ Fuß zurück.

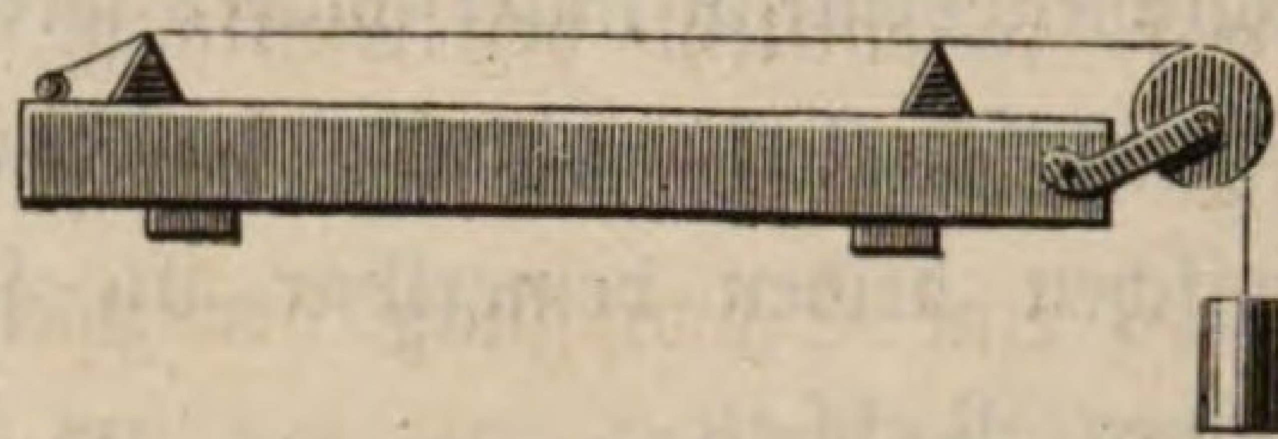
Der Ton.

Ein Ton wird durch regelmäßige Schwingungen eines Körpers hervorgebracht. Steht die Richtung der Schwingungen zur Länge des schwingenden Körpers senkrecht, so heißen die Schwingungen Transversal- oder Querschwingungen; schwingen dagegen die einzelnen Theile desselben in der Richtung seiner Länge, so heißen sie Längenschwingungen; eine dritte Art sind die drehenden Schwingungen, welche aber von geringerer Wichtigkeit sind.

Ein Ton ist um so höher, je mehr Schwingungen der tönende Körper in einer Zeit macht und umgekehrt; dabei finden jedoch sowohl nach oben, als nach unten Grenzen Statt, indem wir einerseits die Höhe eines Tones in unserem Ohr nicht mehr zu beurtheilen vermögen, wenn die Zahl der Schwingungen eine gewisse Grenze — 20—24,000 in der Secunde — übersteigt, während wir andererseits sehr langsam auf einander folgende Schwingungen möglicher Weise nicht mehr als ein zusammenhängendes Ganze hören; nach Savart ist diese untere Grenze die Schwingungszahl 8 in der Secunde; übrigens verändern sich diese Grenzen theils mit der Stärke der Schwingungen, theils mit der Feinheit der Gehörs.

Um die Schwingungszahlen oder die Höhen verschiedener Töne mit einander zu vergleichen, bedient man sich des Monochords, eines langen, aus dünnen Brettchen zusammengefügten Kästchens *(Fig. 151.)*, das zur Verstärkung des Tones dient, über

Fig. 151.



welches eine Saite gespannt ist, die durch angehängte Gewichte stärker oder schwächer gezogen wird und durch einen verschiebbaren Steg verlängert oder verkürzt werden kann. Die Anwendung dieses Instruments gründet sich darauf, daß die Zahl der Schwingungen einer Saite zu ihrer Länge in umgekehrtem Verhältniß steht, daß also z. B. eine doppelt so lange Saite nur halb so viele Schwingungen macht, als eine Saite von der einfachen Länge u. s. w.

Für die Vergleichung hinsichtlich der Höhe der Töne hat man einen bestimmten Ton anzunehmen und zwar den, welchen die Saite bei einer gewissen Spannung von sich giebt, wenn sie die größte Länge hat. Diesen Ton nennt man den Grundton und bestimmt darnach die relativen Höhen anderer Töne, indem man die Schwingungszahlen durch die Schwingungszahlen des Grundtons dividirt. Einfacher ist es indessen, wenn man statt der Schwingungszahlen nur deren Verhältnißzahlen, die sich aus der Saitenlänge am Monochord ergeben, dazu benutzt und die des Grundtons = 1 annimmt. Ist die Saitenlänge des zu messenden Tons z. B. $^2/_3$ der ganzen Länge, so verhält sich seine Schwingungszahl zu der des Grundtons wie 1 zu $^2/_3$, d. h. wie 3 zu 2 oder wie $^3/_2$ zu 1.

Den Eindruck, welchen zwei Töne in unserem Ohre zu gleicher Zeit hervorbringen, nennen wir entweder einen angenehmen oder einen unangenehmen, im ersteren Falle nennt man

die Verbindung der Töne eine harmonische oder eine Consonanz, im zweiten eine unharmonische oder Dissonanz.

Mit Hülfe des Monochords erkennt man, daß die Töne um so harmonischer klingen, je einfacher die Zahlenverhältnisse ihrer Schwingungen sind. Spannt man nämlich zwei Saiten auf das Monochord auf, so entsteht der Einklang, wenn beide vollkommen gleich schwingen. Kommen z. B. zwei Schwingungen der einen Saite auf eine Schwingung der zweiten, so hat man dasjenige Intervall, welches man in der Musik Octav nennt; macht die eine Saite drei Schwingungen, während die andere zwei macht, so haben wir die Quinte; 5 Schwingungen der einen Saite auf 4 der andern geben die Terz u. s. w. Der Einklang, die Octav und die Quint sind die reinsten Wohlklänge; sie werden gewöhnlich beim Stimmen der Instrumente benutzt. Als weitere Consonanzen schließen sich diesen die Terz, die Quart und die Sechst an; die Secund und die Septima sind Dissonanzen.

Die Verhältnißzahlen sämmtlicher Intervalle der sogenannten Durtonleiter, wobei der von den Musikern mit dem Buchstaben c bezeichnete Ton als Grundton angenommen ist, sind folgende:

Prim.	Secund.	Terz.	Quart.	Quint.	Sechst.	Septim.	Octav.
C	D	E	E	G	A	H	C
1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	5/8	2

Die Verbindung der Prim, Terz und Quint heißt Einklang, und zwar großer Einklang, Duraccord, wenn die Terz eine große ist, d. h. wenn ihr die Verhältnißzahl 5/4 entspricht; ist die Terz dagegen klein, d. h. hat sie die Verhältnißzahl 6/5, wie in der sogenannten Molltonleiter, so heißt jene Verbindung kleiner Dreiklang oder Mollaccord.

Die musikalischen Instrumente, die wichtigsten Körper, welche in regelmäßige Schwingung versetzt und also zur Erzeugung von Tönen gebraucht werden, sind: 1) Saiten, 2) Metallstäbe und Metallzungen, 3) Thierhäute, Metall- oder Glasplatten und

Glocken und endlich 4) die Luft. Hiernach theilt man die musikalischen Instrumente in 4 Gruppen, nämlich 1) in Saiteninstrumente, 2) Instrumente aus Metallstäben und Metallzungen, 3) Instrumente aus Thierhäuten, Glocken ꝛc., 4) Blasinstrumente.

Für die Saiteninstrumente werden in der Regel Darm- oder Metallsaiten benutzt und hierfür gelten folgende Gesetze: 1) die Töne zweier Saiten von gleicher Dicke und gleicher Spannung verhalten sich in Beziehung auf Höhe umgekehrt wie die Länge der Saiten, 2) bei gleicher Länge und gleicher Spannung der Saiten verhalten sich die Tonhöhen umgekehrt wie die Dicke der Saiten, 3) bei gleich langen und gleich dicken Saiten verhalten sich die Quadrate der Tonhöhen oder der Schwingungszahlen in der Secunde gerade wie die Spannung der Saiten.

Nach dem letzten Gesetz entspricht der doppelten Schwingungszahl die vierfache Spannung, der dreifachen Spannung die neunfache Spannung und umgekehrt. Die Spannung wird gemessen durch die spannenden Kräfte, z. B. beim Monochord durch die angehängten Gewichte.

Die Stimme und das Gehör.

Das Stimmorgan des menschlichen Körpers ist aus mehren Theilen zusammengesetzt.

Die Luftröhre ist bekanntlich eine Röhre, welche auf der einen Seite in den Schlund, auf der andern in die Lungen endigt; ihre wesentliche Verrichtung ist, die Luft durchzulassen und zwar sowohl beim Ein- als auch beim Ausathmen; sie ist fast cylindrisch und aus knorpeligen Ringen zusammengesetzt, welche durch häutige Ringe verbunden sind. Am unteren Ende theilt sie sich in zwei Röhren, die Bronchien, von denen die eine rechts, die andere links geht. Jeder dieser Aeste verzweigt sich weiter nach allen Seiten der Lunge. Oben endigt die Luftröhre mit dem Kehlkopfe, welcher vorzugsweise das Stimmorgan ist.

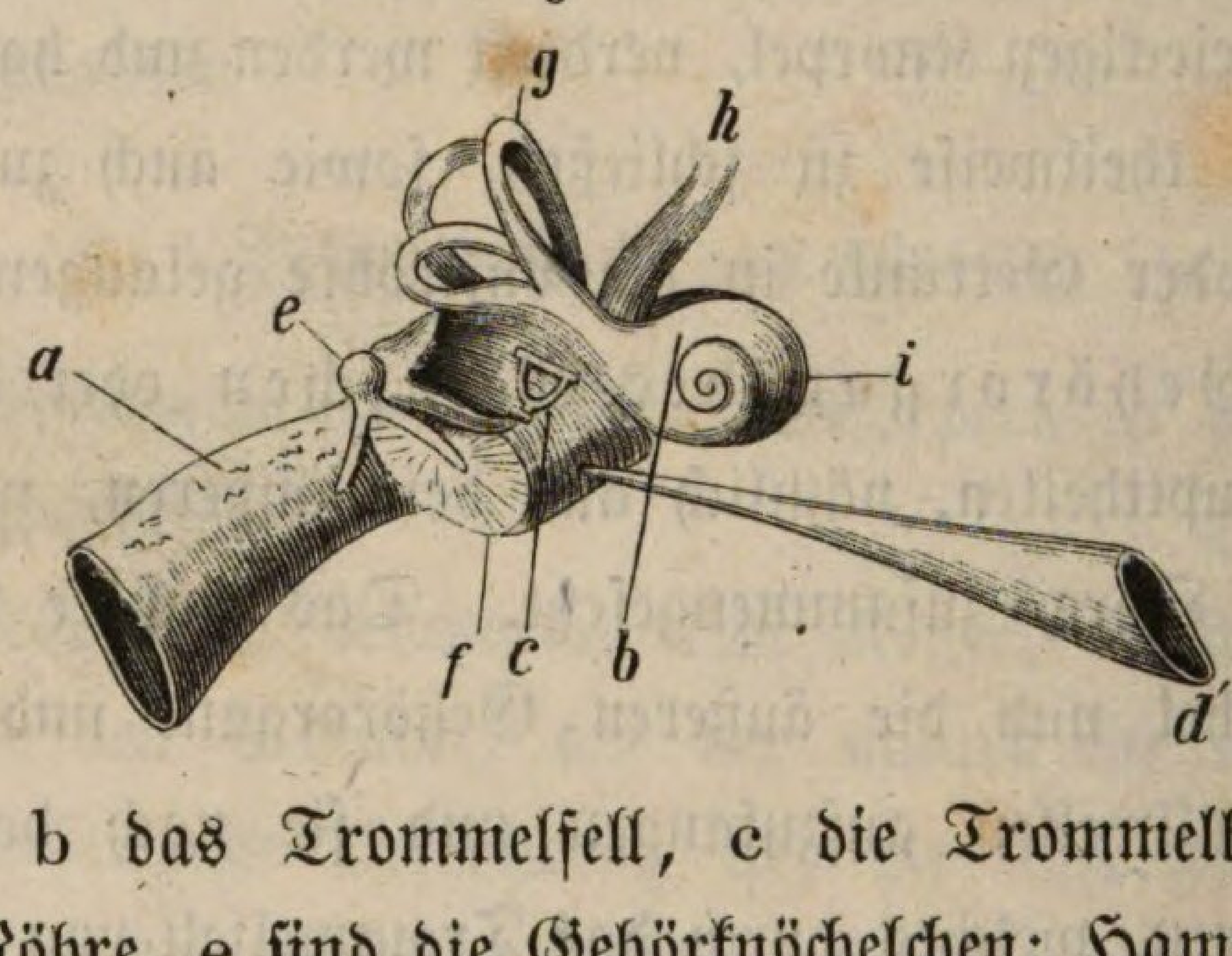
Derselbe besteht aus Knorpeln, Bändern und Muskeln. Die innere Wand des Kehlkopfes bildet eine Verlängerung der Luftröhre, die immer enger wird, bis zuletzt von vorn nach hinten nur eine Stimmritze übrig bleibt. Die Ränder dieser Stimmritze sind größtentheils durch Stimmbänder gebildet. Durch die Spalte gelangt die Luft aus der Lufthöhle in die Lunge und wieder zurück. Beim gewöhnlichen Athmen sind die Stimmbänder schlaff und die Luft geht frei und ohne Geräusch hindurch; werden sie dagegen durch die dazu bestimmten Muskeln mehr oder weniger straff angespannt, so setzt sich die an den Rändern vorbeistreifende Luft gleich elastischen Plättchen in Schwingung und es entsteht ein Ton. Sind die Stimmbänder nicht gespannt, schwingen sie daher langsamer und lassen zugleich eine größere Spalte offen, so ist der Ton tief; bei stärkerer Spannung, in Folge deren die Schwingungen rascher erfolgen und die Stimmritze kleiner wird, entsteht ein höherer Ton. — Die obere Stimmritze kann durch den sogenannten Kehldeckel, einen fast dreieckigen Knorpel, verdeckt werden und hat den Zweck, den Kehlkopf theilweise zu schließen, sowie auch zu verhindern, daß Speise oder Getränke in die Luftröhre gelangen.

Das Gehörorgan des Menschen oder das Ohr ist aus drei Haupttheilen, nämlich aus dem äußeren, mittleren und dem inneren Ohre, zusammengesetzt. Das äußere Ohr umfaßt die Ohrmuschel und die äußeren Gehörorgane und dient dazu, um die Schallwellen aufzufangen und sie nach dem mittleren Ohre zu führen, welches durch das Trommelfell von dem äußeren Ohre getrennt ist und als die Pforte des mittleren Ohres betrachtet werden kann. In dem mittleren Ohre oder der Trommelhöhle liegen die 4 Gehörknöchelchen: der Hammer, Ambos, das Linsenbein und der Steigbügel. Das innere Ohr oder Labyrinth, welches in dem hintersten Theil des Schläfenbeins eingeschlossen ist, besteht aus zwei Haupttheilen; aus dem Vorhofe mit den

halbkreisförmigen Kanälen und der Schnecke. Die knöcherne Wand des Labyrinths hat gegen die Trommelhöhle hin zwei Oeffnungen, das runde und ovale Fenster, durch welche die Verbindung zwischen dem mittleren und dem inneren Ohr vermittelt wird und über deren jede ein Stimmkern gespannt ist. Im Labyrinth findet sich eine wässerige Flüssigkeit, in welche eine geschlossene häutige Lintel mit feinen Verzweigungen des Gehörnervs mündet. Die Schallwellen dringen nun vom äußeren Ohre zum Trommelfell und versetzen dasselbe in schwingende Bewegung; diese Schwingungen pflanzen sich fort durch die in der Trommelhöhle enthaltene Luft und durch die Gehörknöchelchen, bis sie endlich auf die im Labyrinth enthaltene Flüssigkeit übertragen werden. Von dieser Flüssigkeit werden die feinen Gehörsnervzweige erregt, welche dann den erhaltenen Eindruck dem Gehirn mittheilen.

Fig. 152. zeigt die Organisation des Ohrs; a ist der

Fig. 152.



Gehörgang, b das Trommelfell, c die Trommelhöhle, d die eustachische Röhre, e sind die Gehörknöchelchen: Hammer, Ambos, Linse und Steigbügel, f ist der Vorhof, g sind halbkreisförmige Kanäle, h ist der Gehörnerv und i die Schnecke.

Gerding, Theodor,

Schule der Physik für Lehranstalten und zum Privatgebrauch

Hannover 1862